

Proceedings
TAEE2020



XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica

XIV Conferência em Tecnologias Aplicadas ao Ensino da Eletrónica

XIV Conference on Technology, Teaching and Learning of Electronics

Porto, Portugal
July 8th – 10th, 2020



Proceedings
TAEE2020

XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica

XIV Conferência em Tecnologias Aplicadas ao Ensino da Eletrónica

XIV Conference on Technology, Teaching and Learning of Electronics

Porto, Portugal
July 8th – 10th, 2020

Editors:

Gustavo R. Alves
André V. Fidalgo
Manuel C. Felgueiras
Ricardo Costa

TAEE2020 is organized by the Centre for Innovation in Engineering and Industrial Technology at the Polytechnic of Porto – School of Engineering

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Polytechnic of Porto – School of Engineering
(Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP)
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431
4249-015 Porto
Portugal

ISBN: 978-989-54758-3-4

Volume Editors

Gustavo R. Alves

Email: gca@isep.ipp.pt

André V. Fidalgo

Email: anf@isep.ipp.pt

Manuel C. Felgueiras

Email: mcf@isep.ipp.pt

Ricardo J. Costa

Email: rjc@isep.ipp.pt

Centre for Innovation in Engineering and Industrial Technology (CIETI)

Department of Electrical Engineering (DEE)

Polytechnic of Porto – School of Engineering (ISEP)

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431

4200 – 072 Porto, PORTUGAL

(+351) 228340532

Preface

Estimados compañeros, un año más nos reunimos en nuestro congreso TAE (Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica), siendo ya el décimo cuarto celebrado bianualmente sin interrupción. Muchos profesores de la Electrónica y áreas afines nos juntamos para compartir y debatir experiencias relacionadas con la docencia. Resistimos a la crisis económica anterior sorteando los recortes y ahora que nos ha pillado por sorpresa otro tipo de crisis, igual o peor que la otra, también lo hacemos. Esta es una situación difícil en que convergen lo sanitario y lo económico, por lo que debemos estar preparados para lo que se nos avecina.

Este año, como dice una canción de Rozalén: “Sabes, hace tiempo que no hablamos. Tengo tanto que contarte, ha pasado algo importante, puse el contador a cero. Sabes, fue como una ola gigante, arrasó con todo y me dejó desnuda frente al mar...” y hemos reflexionado sobre este momento, en lo que verdaderamente importa. Una terapia que, para muchos, ha servido para poder llevar mejor los últimos meses.

La pandemia declarada por el COVID-19 ha obligado a cambiar de metodología docente en nuestras aulas. Hemos pasado de una docencia presencial en la mayoría de las universidades a una docencia totalmente *online*. Este ‘tsunami’ nos ha pillado a todos por sorpresa y hemos tenido que adaptarnos de la mejor forma posible y convivir con el trabajo diario en casa, confinados por el “estado de alarma” junto con situaciones personales complejas y pérdidas de seres queridos.

Sin embargo, si se puede decir que hay algo positivo, os digo que es la experiencia adquirida en este cambio y lo que hemos aprendido hasta el momento. Siguiendo con la canción del inicio “...quizá tenía que pasar. No es justo, pero solo así se aprende a valorar”, ciertamente.

No quisiera dejar de agradecer todo el esfuerzo a los profesionales que han trabajado y trabajan en primera línea, aun a riesgo de su propia vida, para que los demás podamos estar en casa a salvo.

El congreso en el que nos encontramos, totalmente *online*, es un reto que seguro sabremos superar y nos permitirá obtener metodologías nuevas para el futuro. Y así, incorporarlas como parte del congreso presencial y hacer un acercamiento para los compañeros que se encuentran lejos. De esta manera, solucionaremos la difícil participación debido a la distancia y al coste que conlleva la participación presencial.

Agradecemos la plena colaboración total por parte de los organizadores del comité local para conseguir que nuestro querido congreso sea todo un éxito, con el esfuerzo que esto supone y la incertidumbre generada por esta nueva metodología.

En la actualidad, la asociación TAE, motor de este congreso, está formada por profesores que imparten docencia en el campo de la Electrónica y áreas afines, constituyendo un lugar de encuentro de y para los profesionales de la educación de España, Portugal y América Latina. A los nuevos que os incorporáis, os damos la bienvenida y os invitamos a formar parte de esta gran comunidad como asociados: <http://tae.etsist.upm.es/>

Deseo que aprovechemos estos días, que sean para todos un lugar de intercambiando de información y experiencias, y enriquecer nuestra comunidad educativa en beneficio de nuestros alumnos y, sobre todo, que avancemos en las mejoras de las buenas prácticas docentes.

Un saludo sincero,
Juan Domingo Aguilar Peña
Presidente TAE
Oporto, julio de 2020

Mensagem do Organizador

A conferencia TAEF conhecerá na sua 14ª edição um momento histórico. Não só é a primeira vez que a será organizada fora do território Espanhol, como terá lugar a verdadeiramente pioneira experiência de realizar esta conferência num formato puramente virtual no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Esta opção representa a solução possível para um evidente problema mundial, que surgiu de forma repentina durante a preparação desta edição. Optamos por aplicar a típica abordagem de engenharia, instintivamente encarando este novo problema como uma verdadeira oportunidade, e aproveitando as limitações impostas para experimentar novas soluções para novas questões.

Tentamos criar uma TAEF diferente, não melhor nem pior, mas indo buscar proveitos às tecnologias de comunicação emergentes de forma a criar e dinamizar um evento onde não estaremos fisicamente juntos, mas poderemos comunicar e conviver de forma virtual. A grande motivação da TAEF será sempre os visíveis entrosamentos, dedicação e motivação da comunidade e serão estes fatores que permitirão o sucesso nesta nova forma de estarmos e trabalharmos juntos, mas à distância.

Esta nova filosofia exigiu um esforço extra da associação TAEF e de toda organização local, mas particularmente de todos os autores e participantes aos quais foi pedido mais e em menos tempo. A resposta foi admirável, a participação manteve-se vigorosa e todos acrescentaram um esforço extra que permitiu avançar de forma resoluta e firme para este novo formato.

Este ano contamos com um interessante conjunto de oradores convidados que misturam a visão local e sustentável a partir do Instituto Superior de Engenharia do Porto, também a experiência acumulada de quem é já há muito tempo membro da comunidade TAEF e finalmente o acrescentar de uma visão internacional e inovadora onde o ensino da eletrónica é sugerido com novas ferramentas e metodologias.

Uma palavra para a cidade do Porto, onde infelizmente os efeitos do vírus COVID19 não permitiram que o Politécnico do Porto recebesse os participantes da TAEF de forma presencial. Não será possível visitar a bela cidade invicta, conhecer os seus bairros e cafés históricos, navegar na foz do Rio Douro ou passear nas suas ruas e pontes. A tradição de bem receber é uma força na cidade do Porto e teria sido um prazer realizar esta edição da TAEF nas salas e espaços do Instituto Superior de Engenharia.

Não podemos deixar de agradecer a todos as entidades externas que apoiam esta edição da TAEF, incluindo o CIETI, a SPEE, o IEEE e muito particularmente à CISCO que se disponibilizou para, em tempo recorde, operacionalizar esta edição online da TAEF.

Também o nosso sincero agradecimento a todos quantos participam de alguma forma na organização deste evento, disponibilizando algum do seu escasso tempo das suas já sobrecarregadas agendas.

Finalmente, os nossos desejos que a conferencia decorra com sucesso, que seja possível aproveitar este momento para o encontro de professores e investigadores de universidades portuguesas, espanholas, latino americanas, e outras que optaram por se juntarem a nós. Desta forma, poderemos todos apresentar, partilhar e discutir experiências e atividades no ensino e aprendizagem de eletrónica e engenharias afins, e nesta 14ª edição fazê-lo de uma forma inovadora, mas igualmente proveitosa e entusiasmante.

Porto, 7 de julho de 2020

André Fidalgo e Gustavo Alves

Instituto Superior de Engenharia / Politécnico do Porto

Organization

Centre for Innovation in Engineering and Industrial Technology (CIETI)
Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Conference Chairs

André Vaz Fidalgo, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Gustavo Ribeiro Alves, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Programme Chairs

Manuel Carlos Felgueiras, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Ricardo Jorge Costa, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Local Committee

André Vaz Fidalgo, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Gustavo Ribeiro Alves, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Manuel Carlos Felgueiras, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Maria Arcelina Marques, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Maria Margarida Ribeiro, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Maria Teresa Sena Esteves, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Ricardo Jorge Costa, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal

Steering Committee

André Vaz Fidalgo, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
M^a Asunción Morales Santana, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain
Bonifacio Martín del Brío, Universidad de Zaragoza, Spain
Camilo Quintáns Graña, Universidade de Vigo, Spain
Catalina Rus Casas, Universidad de Jaén, Spain
Emilio Olías Ruiz, Universidad Carlos III, Spain
Gustavo Ribeiro Alves, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Inmaculada Plaza García, Universidad de Zaragoza, Spain
Javier Zubia, Universidad de Deusto, Spain
Jesús Arriaga García de Andoaín, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
José Miguel Páez Jiménez, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
Juan Domingo Aguilar Peña, Universidad de Jaén, Spain
Juarez Silva, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Julio Pérez Acle, Universidad de la República, Uruguay
Manuel Castro Gil, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Spain
Manuel Rodríguez Valido, Universidad de La Laguna, Spain
Manuel Carlos Felgueiras, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Martín Llamas Nistal, Universidade de Vigo, Spain
Ricardo Jorge Costa, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Roberto Capilla Lladro, Universitat Politècnica de València, Spain
Enrique Mandado Pérez, Universidade de Vigo, Spain
César Sanz Álvaro, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Federico José Barrero García, Universidad de Sevilha, Spain
Fernando Pescador del Oso, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Francisco Javier Azcondo Sánchez, Universidad de Cantabria, Spain
Gonzalo Casaravilla, Universidad de la República, Uruguay
Jorge Juan Chico, Universidad de Sevilha, Spain
Manuel Blázquez, IES Ramiro de Maeztu, Spain
Pedro Carrión Pérez, Universidad de Castilla La Mancha, Spain
Ramón Bragos Bardía, Universidade Politécnica da Catalunha, Spain
José Miguel Ruiz Gonzalez, Universidad de Valladolid, Spain
Sergio López Gregorio, Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Programme Committee

Alejandro Ayala, Universidad de La Laguna, Spain
Alfonso Lago Ferreiro, Universidade de Vigo, Spain
André Vaz Fidalgo, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Benedita Malheiro, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Bonifacio Martín del Brío, Universidad de Zaragoza, Spain
Camilo Quintáns Graña, Universidade de Vigo, Spain
Catalina Rus Casas, Universidad de Jaén, Spain
Delberis Lima, PUC - Rio, Brasil
Edmundo Tovar Caro, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Filomena Soares, Universidade do Minho, Portugal
Gabriel Falcão, Universidade de Coimbra, Portugal
Gustavo Ribeiro Alves, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Horacio Neto, Instituto Superior Técnico, Portugal
Inmaculada Plaza García, Universidad de Zaragoza, Spain
Javier Zubia, Universidad de Deusto, Spain
Jesús Arriaga García de Andoaín, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Jorge Juan Chico, Universidad de Sevilla, Spain
João Canas Ferreira, Faculdade de Engenharia do Porto, Portugal
José Carlos Alves, Faculdade de Engenharia do Porto, Portugal
José Carlos Quadrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
José Manuel Ferreira, University of South-Eastern, Norway
Juan Domingo Aguilar Peña, Universidad de Jaén, Spain
Juarez Silva, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Luis Gomes, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal
Luis Schlichting, Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
M^a Asunción Morales Santana, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain
Manuel Blázquez, IES Ramiro de Maeztu, Spain
Manuel Carlos Felgueiras, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Manuel Castro Gil, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Spain
Manuel Gericota, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Manuel Rodríguez Valido, Universidad de La Laguna, Spain
Manuel Silva, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Martín Llamas Nistal, Universidade de Vigo, Spain
Miguel Conde-González, Universidad de León, Spain
Miguel Valero Garcia, Universidade Politécnica da Catalunha, Spain

Pedro Fonseca, Universidade de Aveiro, Portugal
Ricardo Jorge Costa, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal
Ruben Fernandez, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
Sergio López Gregorio, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Silvestre Rodríguez Pérez, Universidad de La Laguna, Spain
Susana Marchisio, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Susana Perez Santos, Universidad de Salamanca, Spain
Unai Hernandez, Universidad de Deusto, Spain

Invited Reviewers

Agustin Caminero, Universidad Nacional de Educación a Distancia
Alberto Yúfera, Instituto de Microelectrónica de Sevilla
Alejandro Ayala Alfonso, Universidad de La Laguna
Alfonso Lago, University of Vigo
Alicia Triviño Cabrera, University of Málaga
Alicia Perdigones, Universidad Politécnica de Madrid
Ana M. Barbancho, Universidad de Malaga
André Fidalgo, ISEP
Andrés Roldán Aranda, University of Granada
Angel Custodio, UNEXPO Puerto Ordaz
Antonio Lopez-Martin, Public University of Navarra
Antonio Barbancho, Departamento de Tecnología Electrónica
Antonio Acosta, IMSE-CNM/University of Seville
Antonio Robles-Gómez, UNED
Antonio Martin, University of Seville
Asunción Morales, Universidad de las Palmas de Gran Canaria
Begona Garcia Zapirain, University of Deusto
Benedita Malheiro, Instituto Superior de Engenharia do Porto and INESC TEC
Blanca Quintana, UNED
Bonifacio Martin Del Brio, University of Zaragoza
Camilo Quintáns Graña, Universidad de Vigo
Carlos Felgueiras, ISEP
Carlos Roche, UCLV
Carlos Jimenez, Universidad de Sevilla
Catalina Rus-Casas, Universidad de Jaén
Clara Perez-Molina, UNED
Eduardo Magdaleno, Universidad de La Laguna
Emilio Olias, University Carlos III of Madrid
Enrique Onieva, Deusto Institute of Technology (DeustoTech), University of Deusto
Enrique Mandado, University of Vigo
F. David Trujillo, Universidad de Málaga
Fátima M^a Casado Miraz, Universidad Las Palmas de Gran Canaria
Felix Tobajas, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Felix Garcia Loro, UNED
Felix J. Garcia Clemente, Universidad de Murcia

Fernando Pescador, SEC
Filomena Soares, University of Minho
Francisco Arcega, University of Zaragoza
Francisco Falcone, Universidad Publica de Navarra
Francisco Javier Gonzalez-Cañete, University of Malaga
Francisco Javier Azcondo, University of Cantabria
Gabriel Falcao, University of Coimbra
Gabriel Diaz Orueta, UNED
Golberi Ferreira, IFSC
Gonzalo Casaravilla, Universidad de la República
Guillermo Glez-De-Rivera, Universidad Autonoma de Madrid
Gustavo Alves, ISEP
Hector Migallon, University Miguel Hernández
Hector Solar, CEIT
Ignacio Angulo, Universidad de Deusto
Inmaculada Plaza, University of Zaragoza
Jaime Jiménez, University of the Basque Country
Javier Garcia-Zubia, Universidad de Deusto
Jesús Sergio Artal Sevil, University of Zaragoza
Joan Oliver, Universitat Autonoma de Barcelona
João Canas Ferreira, University of Porto
Jorge Juan, University of Seville
Jose Cabrera, ULPGC
José Quadrado, IPP
Jose Angel Sanchez Ortiz, UNED Talavera
José Daniel Muñoz Frías, Universidad Pontificia Comillas
Jose I. Artigas, Universidad de Zaragoza
Jose Ignacio Garate, UPV/EHU
Jose J. Quintana, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Jose Manuel Martins Ferreira, University of South-Eastern Norway
José María López-Valles, UCLM
Joseba Ezquerro, UPV/EHU
Juan Oliver, Universidad de la Republica
Juan Carlos Soto Merino, University of the Basque Country
Juan Domingo Aguilar, Universidad de Jaén.
Juan M. Santos, University of Vigo
Juan-Ignacio Vazquez, Universidad de Deusto

Juarez Bento Silva, Universidade Federal de Santa Catarina
Julian Viejo, University of Seville
Julio Perez Acle, Universidad de la Republica
Llanos Tobarra, UNED
Luis Gil, Universitat Politècnica de València
Luis Dávila, Universidad Politécnica de Madrid
Luis Zorzano, Universidad de La Rioja
Luis C. M. Schlichting, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Luis Fernando Rico Riveros, Universidad ECCI
Luis Hector Porragas Beltran, Universidad Veracruzana
Manuel Castro, UNED
Manuel Perales, University of Seville
Manuel Gericota, ISEP
Manuel Blázquez, IES Ramiro de Maeztu - UNED
Manuel Silva, ISEP-IPP and INESC TEC CRIIS
Manuel Arias, Universidad de Oviedo
Manuel I. Capel Tuñón, University of Granada
Marc Porti, Universitat Autònoma de Barcelona
Maria Jose Moure, Universidad de Vigo
María Luisa Martinez, Universidad Politécnica de Madrid
Marisa Gil, Universitat Politècnica de Catalunya
Marta Prim, Universitat Autònoma de Barcelona
Martín Llamas-Nistal, Universidad de Vigo
Miguel Romá, University of Alicante
Miguel A. Prada, Universidad de Leon
Moises Diaz, Universidad del Atlantico Medio, Spain
Nicolas Medrano, University of Zaragoza
Noemí Pérez, TECNUN
Pedro Fonseca, Universidade de Aveiro
Pedro Perez, University of Jaen
Pedro Plaza, Plaza Robotica
Peña Fabiani Bendicho, Universidad de la Laguna
Rafael Pastor Vargas, UNED
Rafael De Jesús Navas-González, Universidad de Málaga
Ramon Vilanova, UAB
Raul Alcaraz Martínez, UCLM
Ricardo Costa, ISEP

Roberto Carballedo, University of Deusto
Roberto Haarth, Universidad Nacional de Cuyo
Robinson Pizzio, Federal, Institute of Santa Catarina
Salvador Alcaraz, Miguel Hernandez University
Sergio Lopez, Universidad Politécnica de Madrid
Sergio Martin, UNED
Silvestre Rodriguez Pérez, Universidad de La Laguna
Susana Marchisio, Universidad Nacional de Rosario
Susana Romero, Universidad de Deusto
Unai Hernández-Jayo, University of Deusto

Session Chairs

Session TS-1A: Trends in Education I

Scientific Chair: Juan Domingo Aguilar Pena

Technical Chair: Ricardo J. Costa

Session TS-1B: Digital Systems I

Scientific Chair: Camilo Quintáns Graña

Technical Chair: Frederico Jacob

Keynote 1: Electronics Education in the context of Sustainability

Scientific Chair: Manuel Castro

Technical Chair: Ricardo Costa

Session TS-2A: Trends in Education II

Scientific Chair: Manuel Castro

Technical Chair: Ricardo Costa

Session TS-2B: Trends in Education III

Scientific Chair: Camilo Quintans Grana

Technical Chair: Frederico Jacob

Session TS-3A: Electronics I

Scientific Chair: Catalina Rus Casas

Technical Chair: Pedro Plaza Merino

Session TS-3B: Electronics II

Scientific Chair: Manuel Gericota

Technical Chair: Frederico Jacob

Session TS-4A: Systems in Education

Scientific Chair: Catalina Rus Casas

Technical Chair: Pedro Plaza Merino

Session TS-4B: Digital Systems II

Scientific Chair: Manuel Gericota

Technical Chair: Frederico Jacob

Keynote 2: Approaching Field Programmable Gate Arrays with Deeds

Scientific Chair: André Fidalgo

Technical Chair: Pedro Plaza Merino

Session TS-5A: Trends in Education IV

Scientific Chair: Manuel Carlos Felgueiras

Technical Chair: Pedro Plaza Merino

Session TS-5B: Demo Session

Scientific Chair: Ricardo Costa

Technical Chair: Joaquim Alves

Session TS-6A: Electronics III

Scientific Chair: Asunción Morales

Technical Chair: Manuel Carlos Felgueiras

Session TS-6B: Trends in Education V

Scientific Chair: Unai Hernández-Jayo

Technical Chair: Ricardo Costa

Session TS-7A: Digital Systems III

Scientific Chair: Asunción Morales

Technical Chair: Manuel Carlos Felgueiras

Session TS-7B: Lab Experiences

Scientific Chair: Ricardo Costa

Technical Chair: Unai Hernández-Jayo

Keynote 3: Teaching and Learning Electronics with Remote Labs

Scientific Chair: Gustavo R. Alves

Technical Chair: André Fidalgo

Keynote Speakers

Electronics Education in the context of Sustainability

Higher education in general, and particularly in the electronics case, is at present in a very different position than several years ago. In the past, technology aimed to improve living conditions, in a way reasonably independently from their sustainability. These developments have had strong environmental implications, and it is now referred not to Development per se, but Sustainable Development. The design of functional units (e.g. cars, houses, factories) is no longer done in independent layers but in integrated and multidisciplinary projects. After fully exploring purely passive solutions, we need to move towards active solutions. Systems that traditionally working only in open loop (e.g., lighting) should now works in closed loop. Indeed, systems that are more sustainable have this behavior as a result of the massive introduction of electronics and information technologies. Thus, electronics is now seen not only as a means of increasing our comfort but as an unavoidable ally for Sustainable Development. The speech seeks to contextualize the importance of teaching electronics and presents some results from teaching experience.



Prof. Carlos Felgueiras received the B.S. and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from the Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, Portugal, in 1987 and 2008, respectively. He started his professional career in 1987 as electronic designer for automation systems. Later, he was invited to supervise a test laboratory for verifying the accomplishment of European Standards in thermoelectric household appliances. He started the teaching activity in 1994 as Assistant Professor and later as Adjunct Professor and researcher in the Department of Electrical Engineering (DEE), School of Engineering (ISEP), Polytechnic of Porto (P.Porto), Porto, Portugal. His research interests include design for debug and test of mixed-signals,

remote experimentation in e-learning contexts, renewable energy sources and smart buildings. Prof. Felgueiras is member of the Portuguese Engineers Association and also the Global Online Laboratory Consortium (GOLC). He has published about 90 papers and he is a member of scientific committees of several national and international conferences. (email: mcf_at_isep.ipp.pt)

Teaching and Learning Electronics with Remote Labs

Remote experimentation fits into the Technology-Enhanced Learning (TEL) domain and thus is usually applied at Educational Institutions. This keynote will first explain what is (not) a remote laboratory and the implications that follow from this debate. After classifying the different types of remote experiments, their usage inside the classroom will be described in detail, in particular in the areas of electronics, control, and telecommunications, in Engineering Education. The main purpose is to explain how remote experiments fit into a lesson plan and the educational impact they have into the students' learning process. The presented examples will also demonstrate how to design a remote lab for experiments with electronics, i.e. the sort of equipment and architectures they require for being implemented. The keynote will end with a general overview of on-going projects in the field, the current and anticipated trends of remote experimentation, and the research groups currently active in this area. 2020 is the 25th anniversary of the coining of the "remote experimentation" expression, and as such a good opportunity to revisit the path done so far.



Prof. Javier Garcia Zubia is a professor at the University of Deusto, Bilbao (Spain), for more than 30 years. He is a full professor at the faculty of Engineering since 2011. His teaching interests are Digital Systems, including digital electronics, FPGAs and SoC. His research interests fall into two domains: remote experimentation and design of advanced digital systems. He has published several tenths of articles, having an WoS h-index=13 and a GoogleScholar h-index=37. He coedited 3 books about remote experimentation and he has participated in several R&D projects, funded by the regional government, the Spanish

government, the ERASMUS+ program, FP7, H2020, and NSF, among others. This intensive work has supported several invitations for delivering keynotes and receiving international recognition and awards. He has been a member of several editorial boards and program committees. He is a senior member of the IEEE. (email: zubia_at_deusto.es)

Approaching Field Programmable Gate Arrays with Deeds

Our experience in teaching a first year course of digital design shows that the introduction of Field Programmable Gate Arrays (FPGA) is advisable. Students demonstrate a better interest for the topics, if they can really verify the circuits they study and design. Traditional bread-board based prototyping is therefore replaced by FPGA programming, which is nowadays performed at professional level using Hardware Description Language (HDL). We are somehow critical of the current trend of introducing digital system with HDL. Our tool, Deeds (Digital Electronics Education and Design Suite) allows to configure FPGA boards for testing starting with traditional schematics-based entry, which is more compatible with the beginners' skills, and overcomes the pre-requisite of some proficiency in high-level programming languages. Deeds integrates FPGA configuration and testing into its design and simulation flow, making digital design, including microprocessor programming, demonstrable through a few commercially available FPGA boards. Tutorials and projects, designed for flexibility and self-learning, open up many possibilities to hands-on experiments and introduce the basic skills on which building HDL competences later on. Deeds was developed at DITEN, University of Genoa, and it is composed of a set of simulators and a wide collection of associated learning material, covering combinational and sequential logic networks, finite state machine design, microcomputer interfacing and programming. Deeds website: <https://www.digitalelectronicsdeeds.com/index.html>



Prof. Giuliano Donzellini received the Laurea degree in electronic engineering from the University of Genoa, Genoa, Italy, in 1980. After a few years as a design engineer with the Marconi firm, in Genoa, in 1983 he has been appointed Assistant Professor with the Department of Biophysical and Electronic Engineering of the University of Genoa. He has worked on automatic measurements, image analysis and process control systems, phase-locked digital systems, and speleological topographic surveying systems. Currently he is focusing on the development of simulation tools for digital electronics for educational applications (Deeds - Digital Electronics Education and Design Suite) that he exploits in his teaching activity. He has contributed his experience in several EU projects and is author or co-author of several research papers and, most recently, of the book "Introduction to Digital Systems Design" (Springer, 2019). (email: giuliano.donzellini_at_unige.it)

Index

TS-1A Trends in Education I	1
Sistema de monitorización automática del pulso cardíaco como experiencia ABP, Nicolas Medrano, Belen Calvo, Jorge Perez Bailon, Alejandro Márquez Marzal, Diego Antolín and Javier Alejandro Martínez Nieto.....	3
Formación en Ingeniería y Cooperación Internacional: Diseño de drones acuáticos para monitorización de variables ambientales, Manuel Ángel Perales Esteve, Sergio Toral and Daniel Gutiérrez.....	11
Optimización del entrenamiento en el manejo y mantenimiento de equipos médicos mediante el uso de simuladores virtuales, Raul Alcaraz Martínez, Arturo Martínez-Rodrigo and César Sánchez.....	17
Evolución en la Provisión de Servicios de Laboratorio Remoto a través de Protocolos de Federación, Felix Garcia Loro, Blanca Quintana, Martin Fernandez, Manuel Blázquez, Alejandro Macho, Pablo Baizán Álvarez, Pedro Plaza, Elio San Cristóbal Ruiz, Clara Perez-Molina, Gabriel Diaz Orueta and Manuel Castro.....	25
Nemojitecnia: una metodología docente de apoyo al estudio aplicada a la asignatura de Electrónica, Pedro Manuel Martínez Jiménez, Diego Sales Lérica and Clemente Cobos Sánchez.....	35
TS-1B Digital Systems I	43
Diseño de Sistema de Realidad Aumentada para el Aprendizaje Inmersivo de Electrónica Digital, Sergio Martin, Gerardo Parra, Joaquín Cubillo, Blanca Quintana, Rosario Gil, Clara Perez and Manuel Castro.....	45
Aprendizaje Espaciado y Gamificado de Electrónica Digital, Sergio Martin, Miguel Santamaria, Blanca Quintana, Gabriel Diaz Orueta and Manuel Castro.....	51
Si la montaña no viene a Mahoma ... Redescubriendo el potencial de las tutorías, Jaime Jiménez, Aitzol Zuloaga, Íñigo Kortabarria, Edorta Ibarra and Jesús Lázaro.....	57
Experiencia para laboratorio de física general mediante el uso de un microcontrolador, Alejandro Ayala Alfonso, Ayoze Franchy Cabrera, Beatriz Rodríguez Mendoza, Silvestre Rodríguez Pérez and Oswaldo B. González Hernández.....	61
Prototipo de cámara IMAX+ como recurso docente para calibración y tratamiento de imágenes en FPGA, Eduardo Magdaleno Castelló, Manuel Rodríguez Valido, David Hernández Expósito, Basilio Ruiz Cobo, María Balaguer, David Orozco Suárez and Antonio López Jiménez.....	67

TS-2A Trends in Education II	75
Aprendizaje basado en proyectos en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, Videoconsola portátil , Jesús M. Hernández-Mangas and Jesús Arias Álvarez	77
Mejora de las habilidades prácticas en el aula de electrónica con laboratorios portátiles , David Valiente, María Flores, Fernando Rodríguez, Juan Carlos Ferrer, José Luis Alonso and Susana Fernández de Ávila.....	85
Using Simulink HDL Coder to implement a Fingerprint Recognition Algorithm into an FPGA , Rosario Arjona and Iluminada Baturone	93
Development of an experimental micro smart grid with renewable sources and energy storage through final Electronics Engineering projects , Sergio Junco, Daniel Alba, Joaquín Ezpeleta and Javier Cabello	95
Continuous Summative Assessment Sessions in Vocational STEM Education , Gordan Durovic, Martina Holenko Dlab and Natasa Hoic-Bozic	97
Household Appliances Identification: An integrative workshop for the Electrical Engineering degree , Alvaro Gómez, Pablo Massafferro, Camilo Mariño, Ignacio Irigaray, Andrés Cardozo and Alicia Fernández	99
 TS-2B Trends in Education III	 101
Sensores remotos para el monitoreo de generación y uso de energía renovable , Gaston Saez de Arregui, Miguel Angel Plano, Juan Manuel Marques, Jorge Luis Lassig, Sonia Concari, Susana Marchisio and Federico Lerro	103
Proyecto de investigación IMAx+/SCIP como elemento motivador en el aprendizaje del alumno , Manuel Rodriguez, Eduardo Magdaleno Castello, David Hernandez Exposito, Basilio Ruiz Cobos and Maria Balaguer	111
Experiencia en el uso de EMONA TIMS en la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones en la UNED de Costa Rica , Jose Roberto Santamaria Sandoval and Esteban Chanto Sanchez	119
A PBL approach for teaching Electronics Fundamentals by Developing Robotics Projects , Ana Luna and Mario Chong	127
Satellite and aircraft communications through SDR as an introduction to Telecommunications and Electrical Engineering , Gonzalo Belcredi, Martín Randall, Claudina Rattaro and Pablo Belzarena	129
Encouraging Girls in STEM: workshops on analog electronics, sensors and robotics , Claudina Rattaro, Isabel Briozzo, Mariana Siniscalchi, Florencia Blasina and Mariana del Castillo	131
 TS-3A Electronics I	 133
Ejemplo de aplicación del concepto “Aprendizaje Basado en Proyectos” en estudios de Máster , Unai Hernandez-Jayo and Jose Ignacio Garcia Quintanilla	135

Catálogo de experimentos remotos en VISIR para circuitos electrónicos básicos , Javier García Zubía, Unai Hernández Jayo, Susana Romero Yesa, Jordi Cuadros Margarit and Vanessa Serrano Molinero	143
Instalación fotovoltaica con almacenamiento en baterías de litio para la inclusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles en las ingenierías , Salvador Seguí-Chilet, Salvador Orts Grau, Francisco José Gimeno Sales, Pablo González-Altozano, Ibán Balbastre Peralta, Carmen Virginia Palau Estevan, María Gasque Albalate and Alejandro Escribá Aparisi	153
Predicción temprana del fracaso en una asignatura de electrónica con técnicas de aprendizaje automático , Raul Alcaraz Martínez, Arturo Martínez-Rodrigo, Roberto Zangroniz and Jose Joaquin Rieta	161
Diseño de un Controlador Fuzzy para un sistema de Levitación Magnética mediante sensores Hall , Jesús Sergio Artal-Sevil, Matilde Santos, Carlos Bernal-Ruiz and Antonio Bono-Nuez	169
TS-3B Electronics II	179
Regulated power supply with high power factor for hyperspectral imaging applications , Jose Cabrera, Noemí Falcón, Aythami Yáñez, Samuel Ortega, Sonia León, Himar Fabelo Gómez and Gustavo Marrero	181
Módulo con microcontrolador compatible con Arduino para prácticas de electrónica y monitorización , Javier Diz-Bugarin and Rafael Rodriguez-Paz.....	183
Experiential Learning through “Tangible” Lab Assignments for Electrical Circuits-I , Atousa Hajshirmohammadi, Zhendong Cao and Ling Zhu.....	191
Una metodología mejorada para las sesiones básicas de laboratorio eléctrico y de instrumentación , Noemí Pérez, Ainhoa Rezola, Damián Caballero, José Francisco Macayo and Héctor Solar.....	193
Iniciando “flipped classroom” con iPad y Apple Pencil en el Curso de Electrónica Analógica , Diego Sales Lérda, José María Guerrero Rodríguez, Clemente Cobos Sánchez and Pedro Manuel Martínez Jiménez.....	195
TS-4A Systems in Education (ES)	
Talleres de Ingeniería Electrónica y Tecnologías de la Información (TEeTI): una herramienta para incentivar vocaciones , Oscar Ruiz, Albert Cornet, Manuel Carmona, Christophe Serre and José Bosch	203
Sistema IoT para el análisis de calidad de aguas , Enrique Soto Campos, Rafael Verdugo Matés and Diego Castillo Fernández	209
Aprendizaje de plataformas embebidas heterogéneas para responder a las nuevas necesidades computacionales de la Industria 4.0 , Ignacio Angulo Martínez and Javier García-Zubia	217
Incorporación de E-textile a programa de master y doctorado de Ingeniería Textil , Eduardo García Breijo, Ana Rodes Carbonell, Eva Bou Belda, Luis Gil Sanchez and Ignacio Montava Seguí	225

Adquisición de competencias transversales en estudios universitarios mediante la participación en concursos de robótica , Julio Pastor Mendoza, Emiliano Pereira González, Ángel Javier Álvarez Miguel, Cristina Alén Cordero, Ana Jiménez Martín, Pedro Gil Jiménez, Ángel Llamazares Llamazares, José Luis Martín Sánchez, Enrique Santiso Gómez, José A. Jiménez Calvo, Hilario Gómez Moreno, Manuel Ocaña Miguel, Pedro Alfonso Revenga de Toro, Elisa Rojas Sánchez and Ricardo Mallol Poyato	233
Control de una Mano Biónica basado en Redes Neuronales y técnicas de reconocimiento de gestos mediante múltiples sensores EMG , Jesús Sergio Artal-Sevil, Andrea Pascual-Acón, José Antonio Domínguez-Navarro and Francisco J. Pérez-Cebolla	241
TS-4B Digital Systems II	249
Towards a Man-Machine Interaction in Programming Robotic Subject , Moises Diaz, Jose J. Quintana, Raúl Santiago, Miguel Ferrer and Ana González	251
Equipo de prácticas para asignaturas de Automatización Industrial y Regulación Automática en Grados de Ingeniería. , Sebastián García, Antonio Parejo, Alvaro Ariel Gómez, Francisco Javier Molina, Diego Francisco Larios and Carlos León	253
Laboratory for Industry 4.0 , Samuel Dominguez-Cid, Javier Antonio Guerra, Francisco Javier Molina, Álvaro Ariel Gómez, Miguel Ángel Leal and Alejandro Gallardo	255
How to Implement a Fingerprir Recognition Algorithm into a Wearable Device , Rosario Arjona, Javier Arcenegui and Iluminada Baturone	257
Design of a teaching computer with floating point unit for Computer Architecture , Andrés Gersnoviez, María Brox, Carlos Castillo-Márquez, Miguel Ángel Montijano-Vizcaíno, Manuel Agustín Ortiz-López and Francisco Javier Quiles-Latorre	259
TS-5A Trends in Education IV	261
Monitoramento de sensores de umidade do solo Com internet das coisas (iot) aplicado na Agricultura de precisão , Alessandra Coelho, Wanderson Assis, Bruno Dias, Fernando Martins and Rogério Pires	263
Internet das Coisas Aplicada à Hidráulica , Alessandra Coelho and Wanderson Assis ...	265
WebLabs: Laboratórios de Acesso Remoto para Ensino de Controle de Processos em Cursos de Engenharia , Wânderson O. Assis, Alessandra D. Coelho and Hugo S. B. Gonçalves	267
Teaching Electronics Subject in Different Post-Secondary Courses , Frederico Jacob and António Alberto	269
Plataforma educacional para modelação e controlo , Ramiro Barbosa	271
Simulator of Mobile Robot Controlled by Artificial Neural Networks to Learning Courses in Robotics , Lucas Favi Bocca, Jônatas Bóas Leite and Suely Cunha Amaro Mantovani	273

TS-5B Demo Session	275
Modular Battery Management System for Power Electronics Practical Laboratory Lessons , Jose Cabrera, Samuel Ortega, Eduardo Quevedo, Himar Fabelo and Gustavo Marrero	277
Desarrollo de un juego sobre FPGA mediante trabajo en equipo , Carlos Jesús Jimenez-Fernández, Carmen Baena-Oliva, Pilar Parra Fernández, Alejandro Gallardo Soto, Francisco Eugenio Potestad Ordóñez and Manuel Valencia	279
Laboratorio Remoto de Electrónica Digital Basado en FPGA , Óscar Oballe-Peinado, Julián Castellanos-Ramos, José Antonio Sánchez-Durán, Rafael Navas-González, Alberto Daza-Márquez and Jesús Alberto Botín-Córdoba	285
CompSim: Ambiente Integrado para Aprendizado e Projeto de Sistemas Computacionais Embarcados , Guilherme Esmeraldo, Edson Lisboa, Mário Santos, Cícero Samuel Mendes, Camila Ribeiro, Luiz Fernando Morato, Lucas Fontes, Pedro dos Santos and Milena Do Nascimento	291
Uso de un laboratorio remoto de FPGAs para la realización de prácticas en grados de ingeniería , Susana Romero Yesa, Javier García-Zubía, José Luis Gutiérrez Temiño, Javier Vicente Sáez and Ignacio Angulo Martínez	293
Laboratório Portátil para o Estudo Prático em Engenharia de Computadores , Tiago Dias, Pedro Sampaio and Pedro Miguens Matutino	301
Integración de Laboratorios Online en Entornos de Aprendizaje , Ildefonso Ruano, Elisabet Estévez, Alejandro Sánchez García, Juan Gómez and Javier Gámez	303
TS-6A Electronics III	311
Enseñando STEM con Arduino a alumnos de primaria , Antonio Menacho, Pedro Plaza, Manuel Blázquez, Elio San Cristóbal, África López-Rey, Clara Pérez, Manuel Castro, Blanca Quintana and Guillermo Botella	313
Diseño de Sondas Aisladas para Prácticas Docentes de Electrónica de Potencia , Diego Antolín, Francisco José Pérez, Nicolás Medrano and Belén Calvo	319
Curación de Contenidos y Entornos Personales de Aprendizaje como herramienta de aprendizaje en Ingeniería Electrónica , Juan Domingo Aguilar-Peña, Catalina Rus-Casas, Gabino Jiménez-Castillo, María Dolores La Rubia-García and Dolores Eliche-Quesada	327
Perspectiva desde el ámbito de la ingeniería para la formación en redes inteligentes , Angeles Verdejo Espinosa, Catalina Rus Casas, Macarena Espinilla Estevez, Carmen Martinez Cruz and María Dolores Ruiz Lozano	335
Convertidor electrónico multipropósito para la enseñanza de la electrónica de potencia , Pablo Amoedo, Sergio Junco, Mónica Romero, Daniel Alba and Andrés Vazquez Sieber	343

TS-6B Trends in Education V	353
TAE, marcador de la divulgación científica , Manuel Blázquez, Juan Domingo Aguilar, M ^a Asunción Morales, Catalina Rus-Casas, Camilo Quintáns-Graña, Sergio López-Gregorio, Jorge Juan Chico, Jesus Arriaga and Manuel Castro	355
Experiencias docentes. Trabajar en el aula la competencia transversal del emprendimiento , Catalina Rus-Casas, Leocadio Hontoria, Gabino Jiménez-Castillo, Francisco José Muñoz-Rodríguez and Juan Domingo Aguilar-Peña	363
Experiencia en la adaptación de una asignatura de máster para su impartición completa a distancia , Julián Viejo Cortés, Alejandro Carrasco Muñoz, Jorge Juan Chico, Paulino Ruiz de Clavijo Vázquez and Germán Cano Quiveu	371
Aprendizaje basado en proyectos mediante la resolución de una necesidad empresarial por un grupo de estudiantes multidisciplinar , Silvia Satorres-Martínez, Diego Martínez-Gila, Pablo Cano-Marchal, Anneli Kakko, Juan Gómez-Ortega and Javier Gámez-García	379
Implementación de pedagogías problemáticas en el área de automatización del programa de Ingeniería Electrónica , Luis Fernando Rico Riveros, Víctor Hugo Bernal Tristancho and Erika Johana Ruiz Suárez	385
TS-7A Digital Systems III	393
Taller de Desarrollo de Sistemas Electrónicos Basados en Microcontrolador Utilizando la Metodología Aprendizaje-Servicio , Camilo Quintáns Graña and José Farina	395
Asistencia a clase y rendimiento académico en la asignatura Electrónica Digital , Rafael De Jesús Navas-González	403
Aplicación de la clase invertida en una asignatura de introducción a la electrónica digital , Raúl Alcaraz, Arturo Martinez-Rodrigo, Roberto Zangróniz and Jose J. Rieta	411
Plataforma de desarrollo de bajo coste para implementar de circuitos digitales en FPGAs mediante hardware y software libre , Albert Saiz-Vela, Pau Fontova, Tomàs Pallejà, Marcel Tresanchez, Juan Antonio Garriga and Concepció Roig	419
BiSKY Team: estudiantes de ingenierías diversas cooperan para construir un cohete , Jesús Lázaro, Elisabete Aramendi, David de la Vega, David Guerra, Sofía Ruiz de Gauna and Ibon Saratxaga	429
TS-7B Lab Experiences	433
An educational remote laboratory for controlling a signal conditioning circuit with an LDR sensor , Ricardo Costa, Paulo Bastos, Gustavo Alves, Carlos Felgueiras and André Fidalgo	435
Living-Lab for Smart Grid technologies teaching , Antonio Parejo, Sebastian Garcia, Enrique Personal, Antonio Garcia, Juan Ignacio Guerrero and Carlos Leon	437

Virtual Laboratory for Digital Signal Processing , Javier Antonio Guerra, Samuel Dominguez-Cid, Juan Ignacio Guerrero, Antonio Garcia, Diego Francisco Larios and Carlos Leon	439
Ensino conjunto de Hardware / Software usando Aprendizagem Baseada em Projetos como estratégia , Pedro Miguens Matutino, Tiago Dias and Pedro Sampaio	441
FPGA remote laboratory: experience of a shared laboratory between UPNA and UNIFESP , Cándido Aramburu, Ana Lucía da Silva Beraldo, Luis Rodriguez-Gil, Wilson F. Moreira de Souza Seron, Aitor Villar-Martinez and Pablo Orduña	443



Session TS-1A

Trends in Education I

Sistema de Monitorización Automática del Pulso Cardíaco como Experiencia ABP

N. Medrano, B. Calvo, A. Márquez, J. Pérez-Bailón,
A. Martínez-Nieto

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España

{nmedrano,becalvo,amarquez,jorgepb,almartinez}@unizar.es

D. Antolín

Departamento de Electrónica
Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia
La Almunia de Doña Godina, España
dantolin@unizar.es

Abstract—Este trabajo presenta una experiencia de aprendizaje basado en proyectos desarrollada en tercer curso del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza. Los alumnos integran los conocimientos teóricos y experimentales adquiridos en la asignatura Técnicas Físicas II, completando todos los pasos para diseñar un sistema de medida automatizada de una señal biométrica como es el pulso cardíaco: sensor, acondicionador, sistema de adquisición, procesamiento y visualización de resultados, con especial hincapié en la extracción de información gracias a la automatización del proceso de medida y su procesamiento matemático mediante técnicas avanzadas como es la transformada de Fourier, todo ello empleando herramientas software de dominio público y código abierto.

Keywords—ABP, sistema de medida, instrumentación inteligente, Python

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías electrónicas ha dado lugar en los últimos años a la proliferación de procesos de supervisión y medida en laboratorios científico-tecnológicos, industriales e incluso en entornos públicos, monitorizando multitud de parámetros físicos y químicos para su seguimiento, control o actuación. Empleando dichas tecnologías es posible desarrollar sistemas cada vez más compactos y precisos, que requieran menor consumo de energía y permitan transmitir la información empleando diversos protocolos de comunicaciones tanto por cable como inalámbricos.

Desde el punto de vista técnico, introducirse en el mundo de los sistemas de instrumentación y medida implica la adquisición de conocimientos y habilidades en diferentes ámbitos, que abarcan el diseño y caracterización de circuitos electrónicos de calibrado y acondicionamiento de sensores, manejo de instrumentación específica o desarrollo de algoritmos de extracción de información a partir de los datos obtenidos por el sistema de medida.

El Grado en Física que se imparte en la Universidad de Zaragoza combina contenidos teóricos con instrumentales [1]; dentro de estos últimos participa el Área de Electrónica, con el objetivo de proporcionar al estudiante las herramientas necesarias para poder abordar con éxito cualquier tipo de problema experimental. En este sentido, usualmente, el alumno de Grado cuenta con unas condiciones de contorno que fijan de forma clara el recorrido a seguir para completar la actividad encomendada por el profesorado, en ocasiones incluso asignando específicamente responsabilidades a los propios estudiantes, en caso de trabajos en grupo. Con ello, los grados de libertad que tiene el estudiante en el proceso de resolución de un problema experimental son restringidos,

limitando la capacidad de decisión, selección de posibles soluciones y actuación para un problema concreto, habilidades que les serán demandadas en el futuro desempeño de su actividad laboral. El proyecto propuesto pretende corregir estas ausencias, proponiendo una actividad en la cual los estudiantes deberán llevar a cabo la implementación y validación experimental de un sistema de medida electrónico a partir de unas especificaciones básicas. Todo ello, introduciendo al alumno en el proceso completo de desarrollo de un producto definitivo, que incluye desde la definición de especificaciones iniciales, diseño teórico, verificación de comportamiento por simulación software, búsqueda y selección de componentes comerciales, construcción del prototipo, comprobación de su funcionamiento y desarrollo de un sistema de adquisición automático por computador con visualización gráfica de la información.

La experiencia ha sido implementada en el primer cuatrimestre de la asignatura anual *Técnicas Físicas II* del tercer curso del Grado en Física y del Programa Conjunto en Física y Matemáticas, durante el curso 2019-2020. Está basada en una estrategia de aprendizaje por proyectos [2-8], y tiene como finalidad el desarrollo de un sistema completo de medida automatizada del pulso cardíaco, incluyendo sensor, acondicionador, adquisición automatizada por computador, procesamiento y visualización de resultados. El proyecto requiere la integración y aplicación de todos conocimientos adquiridos durante el transcurso de la asignatura, y se ha diseñado reproduciendo los pasos del método científico que el alumno deberá aplicar en su actividad profesional [9]: definición del problema y búsqueda de soluciones viables; selección de componentes, diseño, simulación, montaje y validación, así como el desarrollo de la automatización del proceso de adquisición y tratamiento de datos. El hecho de tomar como referencia una señal biométrica permite enmarcar el proyecto dentro de una aplicación real, con una señal con unas características (amplitud débil, baja relación señal-ruido) que ponen de manifiesto la necesidad y ventajas de realizar una adquisición automatizada que permita la extracción de información (pulsaciones/minuto, en este caso) aún en condiciones de muy elevado nivel de ruido, gracias a su procesamiento matemático mediante técnicas avanzadas como la transformada de Fourier. Así, con la experiencia diseñada se pretende que los alumnos sean capaces de abordar un problema complejo, que integre diversas actividades similares a las realizadas en un entorno profesional, donde además de aprender a trabajar en equipo, desarrollen el autoaprendizaje mediante una metodología activa. Al haber un producto final real y cercano a ellos, la motivación y el interés de los alumnos hacia la actividad se incrementa, logrando así un aprendizaje más profundo [10], estrategia ya utilizada con éxito por los

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Vicerrectorado de Política Científica (PIIDUZ_19_360).

autores anteriormente en esta asignatura con el diseño y caracterización de un ecualizador [11].

Además, dentro de la apuesta de la Universidad de Zaragoza por el software libre, las actividades desarrolladas, tanto de simulación de los circuitos electrónicos como el diseño de la plataforma de caracterización, test y medida automatizada se llevan a cabo con herramientas de dominio público y código abierto. Ello además permite a los estudiantes disponer de las aplicaciones necesarias en sus computadoras sin ninguna restricción, de forma que puedan avanzar en el desarrollo del proyecto de manera individual (cada grupo y/o estudiante) favoreciendo el trabajo asíncrono.

Este artículo ha sido organizado de la siguiente manera: La Sección II contextualiza el trabajo, la Sección III presenta las líneas básicas de la propuesta de proyecto, así como la metodología a seguir por parte de los estudiantes. La Sección IV describe los pasos llevados a cabo por éstos, para en la Sección V presentar los resultados obtenidos. Finalmente, la Sección VI propone las conclusiones del trabajo junto con algunas líneas de trabajo futuro.

II. CONTEXTO

El Grado en Física de la Universidad de Zaragoza consta de 240 créditos, se desarrolla en cuatro años e integra cinco módulos: básico, métodos matemáticos, física clásica, estructura de la materia y técnicas físicas, además de asignaturas optativas específicas y el trabajo fin de Grado.

El módulo de Técnicas Físicas, de 24 ECTS, se distribuye en tres asignaturas obligatorias, impartidas en los tres últimos cursos del grado. En Técnicas Físicas I (8 créditos ECTS), en segundo curso, se adquieren las competencias básicas en sistemas de medida y tratamiento de datos de sistemas físicos. Impartida por las Áreas de Electrónica (E, 6 créditos) y Física Atómica, Molecular y Nuclear (FAMN, 2 créditos). Los objetivos específicos consisten en comprender los fundamentos teóricos de la instrumentación electrónica (E); analizar y diseñar circuitos electrónicos para la realización de medidas básicas (E); diseñar experimentos con instrumentación electrónica básica (E); evaluar la calidad de las medidas (FAMN); y llevar a cabo y/o verificar procesos de calibración (FAMN). Tras cursar la asignatura, los estudiantes dispondrán de los conocimientos necesarios para seleccionar y saber utilizar adecuadamente la instrumentación básica de un laboratorio de medida electrónica.

Técnicas Físicas II, en tercer curso, constituye un paso adelante, profundizando en el análisis y diseño de sistemas de medida y adquisición de datos con control automatizado de instrumentación electrónica, que permiten el desarrollo de trabajos experimentales en las distintas áreas de la Física. De carácter anual, cuenta con una duración de 10 créditos ECTS, cuya impartición está asignada a las Áreas de Electrónica (4 ECTS, primer cuatrimestre), Física Aplicada, FAMN, Física de la Materia Condensada y Física Teórica (1.5 ECTS cada una en el segundo cuatrimestre). Entre las competencias específicas de esta asignatura se encuentran adquirir conocimiento sobre fundamentos físicos y criterio para la selección de sensores de magnitudes físicas (E); analizar y diseñar el acondicionamiento de señales de un sistema de medida (E); comprender los fundamentos del muestreo y cuantificación de señales (E); conocer y saber elegir entre los diferentes sistemas de automatización de medidas, empleando herramientas informáticas para la adquisición, automatización y procesamiento de las medidas (E); y manejar instrumentación

básica de medida y control en diversas áreas experimentales de la física: acústica, fluidos, interacción radiación-materia y propiedades de la materia (resto de Áreas).

Finalmente, Técnicas Físicas III, en cuarto curso, es la aplicación de instrumentación específica de medida y control en diversas áreas experimentales de la Física. Consta de 6 créditos ECTS en primer cuatrimestre, estructurados en cuatro experiencias de 1.5 ECTS cada una con el objetivo de desarrollar competencias experimentales relacionadas con el diseño de un montaje experimental, su puesta a punto, aplicación a un problema concreto y evaluación de sus prestaciones, aplicándolas en diferentes áreas de la Física a las que están, por tanto, vinculadas.

El proyecto propuesto se enmarca dentro la asignatura Técnicas Físicas II. Tras adquirir en Técnicas Físicas I de segundo curso del Grado las competencias adecuadas para seleccionar y utilizar instrumentación electrónica básica, en la asignatura de tercer curso se presentan los fundamentos de sistemas de medida, adquisición y procesamiento de datos, profundizando en cada uno de sus bloques: sensores, acondicionadores, convertidores de señales, adquisición, procesamiento y control, secuenciando adecuadamente conocimientos teóricos y experiencias de laboratorio para lograr los resultados de aprendizaje previstos. Las experiencias de laboratorio se encuentran distribuidas en cinco sesiones S1-S5 de dos horas de duración cada una, que se llevan a cabo en grupos de dos alumnos, dedicadas a S1: Amplificación; S2: Filtrado 1; S3: Filtrado 2; S4: Muestreo y Digitalización y S5: Sistema completo de medida. Las dos primeras sesiones están dedicadas a conceptos básicos de acondicionado (amplificación; filtrado, incluyendo simulación y caracterización experimental), mientras que en las tres últimas sesiones los alumnos ya deben automatizar los procesos de adquisición de datos y tratamiento de medidas empleando las herramientas (SCPI para programación de instrumentos, Python como lenguaje de desarrollo y control) presentadas en las sesiones teórico-experimentales destinadas a ello, programadas para ser llevadas en paralelo con los contenidos teóricos. Así, en S3 se automatiza la caracterización del filtro diseñado en S2, controlando el generador-osciloscopio DSO-X2002A de Agilent [12] conectado con el PC a través de su puerto USB; mientras que S4 está destinada a conceptos de muestreo, cuantificación y representación espectral, haciendo uso de una tarjeta de adquisición de datos (USB6008 de National Instruments, NI [13]). Una vez realizadas estas primeras cuatro actividades regladas de laboratorio, a los estudiantes se les propone la última actividad, consistente en el desarrollo completo de un sistema automatizado de medida del pulso cardíaco, para la que disponen de la última sesión S5 de laboratorio, más hasta un máximo de 20 h pertenecientes al bloque de trabajos de la asignatura.

Para llevar a cabo esta actividad, los 74 alumnos de la asignatura durante el primer semestre del curso 2019-2020 se han distribuido en grupos de dos personas (no necesariamente coincidentes con los de prácticas). Constituye la actividad o proyecto final, puesto que integra tanto los contenidos teóricos como las destrezas adquiridas en instrumentación electrónica actual y automatización de procesos para la consecución de un sistema completo.

III. METODOLOGÍA

A. Definición del proyecto

El proyecto propuesto consiste en el desarrollo de un sistema de lectura del pulso cardiaco basado en la transmisión de la luz a través de los tejidos de un dedo de la mano, y su monitorización empleando un sistema de adquisición por computador. La actividad principal se lleva a cabo en las últimas tres semanas de la asignatura, asegurando de esta forma que los alumnos disponen de todos los conocimientos para su desarrollo. En él, los estudiantes deben resolver el sistema planteado a partir de la definición de especificaciones, y desarrollar todos los pasos requeridos en el diseño y puesta en marcha de un sistema de adquisición y procesamiento basado en instrumentación controlada por computador. Para ello, deberán analizar el problema propuesto, incorporando las limitaciones impuestas en cuanto a disponibilidad de material; proponer un circuito de acondicionado inicial que deberá ser simulado y verificado eléctricamente; una vez depurado, el sistema de acondicionado diseñado será implementado físicamente para su verificación experimental; finalmente, se desarrollará un sistema de adquisición de datos de bajo coste (NI-USB6008) previamente utilizada en la sesión práctica S4, que permita su procesamiento en un PC y la extracción de la información (pulsaciones por minuto, en este caso) a través de la información en frecuencia de la señal adquirida.

Las herramientas informáticas necesarias (simulación eléctrica y lenguaje de programación para control de instrumentación y acondicionado de medidas) están a disposición de los alumnos, que tienen la posibilidad (ampliamente recomendada por el equipo docente) de instalarse en sus ordenadores portátiles de forma gratuita para que puedan utilizarlas en el momento que más les convenga. En el caso de la herramienta de simulación electrónica, se propone el uso del simulador Tina-TI [14], de Texas Instruments. Este simulador dispone de manera gratuita de las opciones necesarias para la simulación de sistemas electrónicos de tamaño medio, y puede descargarse desde la web o bien a través de un enlace proporcionado por el profesorado a una unidad de almacenamiento en red proporcionada por la propia universidad. El software de automatización de medidas, acondicionado de datos y representación gráfica escogido es una distribución de Python 3.7 Spyder [15]. Este lenguaje de programación de alto nivel de dominio público se encuentra ampliamente extendido en muy diversos ámbitos de la Ciencia, Tecnología e Industria, y dispone de multitud de librerías especializadas de acceso gratuito para el desarrollo de aplicaciones de procesamiento de datos, control de instrumentación por computador, desarrollo de aplicaciones microcontroladas, simulación de procesos en física computacional o *deep learning*, entre otros, por lo que resulta especialmente atractivo para los alumnos del Grado en Física. Como en el caso del simulador eléctrico, la descarga de esta aplicación puede hacerse desde la unidad de almacenamiento en la nube proporcionada por Unizar.

B. Organización de las actividades

El proyecto ha sido programado en diferentes actuaciones, distribuidas a lo largo del calendario del cuatrimestre. La primera de ellas, de una duración de 2 h, es la presentación de la actividad, seguida de los fundamentos básicos de la medida del pulso cardiaco (Figura 1), y las diferentes metodologías para ello.

Como dispositivo sensor de bajo coste se les propone el empleo de una resistencia tipo LDR (*Light Dependent Resistor*, Figura 2) conectado en un divisor resistivo que hará la transducción de variaciones de intensidad de luz recibida por el sensor procedente de una fuente de luz blanca, en variaciones de tensión en el divisor. El dispositivo propuesto como etapa de amplificación es un Amplificador Operacional (Opamp) $\mu A741$, polarizado con tensión simétrica de ± 12 V, y como fuente de luz se dispone de una bombilla de luz blanca de 12 V. Tanto el sensor, emisor de luz y Opamp escogidos son dispositivos de propósito general y bajo coste. Su selección ha obedecido, más que a su idoneidad para la actividad propuesta, a su manejabilidad, disponibilidad y bajo coste, asumible para realizar la experiencia manteniendo los 37 montajes en placa blanca simultáneamente durante la realización. Además, la sensibilidad del sensor de luz a un amplio rango de longitudes de onda, que incluyen el rango visible, hacen que su respuesta se vea altamente sometida a interferencia externa, ensuciando la señal bajo estudio. Con ello es posible valorar por parte del estudiante la eficacia del análisis espectral de una señal (su estudio en frecuencia en lugar de su análisis temporal, más frecuente), donde es posible discriminar la señal de interés del resto de señales interferentes.



(a)



(b)

*Pulsaciones por minuto	Adulto Sedentario	Adulto en forma	Deportista
Reposo	70 - 90	60 - 80	40 - 60
Ejercicio aerobico	110 - 130	120 - 140	140 - 160
Ejercicio intenso	130 - 150	140 - 160	160 - 200

(c)

Fig. 1. (a), (b) Sistema médico de medida del pulso cardiaco y (c) valores de referencia de pulsaciones

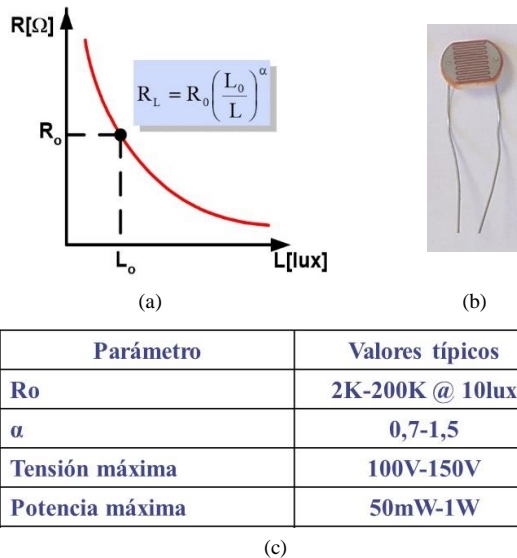


Fig. 2. LDR: (a) Comportamiento resistencia-iluminación y modelo, (b) dispositivo y (c) valores típicos

La segunda actividad, de una duración de 5 horas, consiste en la elección de una etapa de acondicionado adecuada para la realización del sistema de lectura del pulso, de acuerdo a las especificaciones propuestas y la determinación de los elementos que lo componen de acuerdo a unas directrices previas. Para ello los equipos emplean el simulador eléctrico gratuito Tina-TI, de Texas Instruments, analizando y comprobando el comportamiento de las estructuras seleccionadas, empleando como magnitud de entrada una señal eléctrica con un perfil similar al de la señal eléctrica producida por el divisor resistivo que es proporcionada por el equipo docente, formado por seis personas, tres profesores y tres investigadores en formación con actividad docente asignada, de forma que cada uno de los grupos de dos estudiantes es tutorizado por un equipo profesor-investigador. Tras la comprobación de los resultados por parte del tutor del proyecto asignado, los estudiantes proceden al montaje experimental y su verificación en laboratorio, con una disponibilidad de 5 horas.

La última actividad de laboratorio consiste en el desarrollo de una aplicación para computador de adquisición y procesamiento de la señal proveniente del circuito. Para la toma de medidas se emplea la tarjeta de adquisición de datos USB6008 de NI, y cuyo control se lleva a cabo mediante el paquete *nidaqmx.py* de Python [16]. Este paquete dispone de las funciones necesarias para la adquisición de las medidas por las entradas analógicas de las tarjetas de National Instruments, y requiere tener instalado previamente el driver NI-DAQmx, disponible de forma gratuita. Para el procesamiento de los datos adquiridos, los estudiantes emplean el paquete de cálculo científico *scipy.py*, que dispone, entre otras cosas, de las funciones necesarias para el cálculo de la transformada de Fourier de un conjunto de datos y su adecuada ordenación. Esta actividad tiene asignadas también 5 horas.

Tanto para la realización de esta actividad como de la anterior, la verificación en laboratorio del circuito diseñado, los estudiantes disponen de acceso al laboratorio en las mismas franjas horarias que las que tenían asignadas a las prácticas, que en este curso han sido de lunes a jueves, en horario de 9 a 11 h. Además, se han habilitado dos tardes

adicionales, jueves y viernes, con turnos de 15 a 17 h y de 17 a 19 h, en los que pueden acceder al laboratorio previa solicitud a través del Moodle de la asignatura, de manera que se garantiza la disponibilidad de laboratorio necesaria.

El resto de tiempo asignado a la actividad, 3 h aproximadamente, se emplea en la elaboración de un entregable evaluable por cada equipo, que incluye una memoria breve con un registro de trabajo incluyendo actividades y tiempos por estudiante, selección de materiales, resultados de simulación, códigos desarrollados y resultados obtenidos, así como una valoración individual de la actividad de cada uno del resto de los estudiantes del grupo a modo de evaluación entre pares.

IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

Tras la presentación del problema propuesto y sus condiciones de contorno, los estudiantes plantean el circuito básico, basado en un divisor resistivo y etapa amplificadora con operacional (Fig. 3a), cuyo comportamiento es analizado empleando el simulador eléctrico Tina-TI. La señal proveniente del divisor resistivo que incluye el sensor LDR es emulada en el simulador con un modelo de generador de señal proporcionado por el equipo docente, dando lugar en el simulador al circuito de la Fig. 3b. Las señales en el divisor resistivo, entrada no inversora del Opamp y salida del amplificador se muestran en la Fig. 4 (VF1, VF2 y VF3, respectivamente, ver Fig. 3).

Como se aprecia en la Fig. 4, la tensión en el divisor resistivo consta de un nivel de continua de valor elevado sobre el que se superpone una señal de pequeña amplitud y frecuencia de aproximadamente 1 Hz. Tras el circuito RC conectado a la entrada no inversora del Opamp, la señal resultante se encuentra filtrada y centrada sobre 0 V, lo que permite amplificarla sin saturar la salida, donde se observa una señal de mayor amplitud. Si bien la forma de señal es alterada por el circuito, debemos recordar que el objeto del proyecto no es determinar la forma de la señal sino sólo su frecuencia, cuya integridad es mantenida.

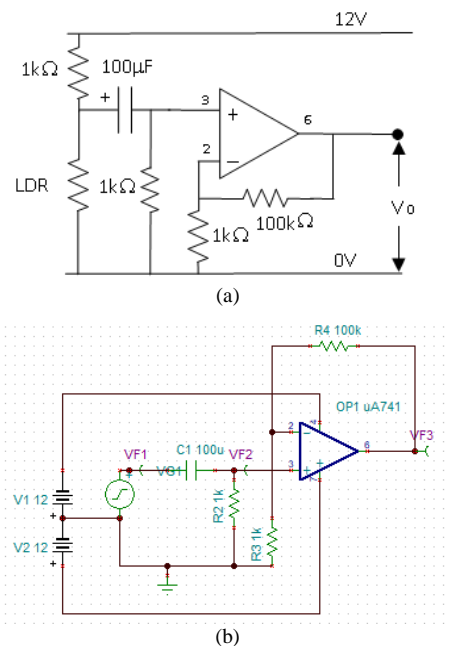


Fig. 3. (a) Esquemático del circuito de adaptación de la señal del sensor; (b) modelo eléctrico en el simulador

Dado que el objetivo del trabajo es comprobar la utilidad de trabajar en el dominio de la frecuencia en determinadas condiciones de trabajo, los estudiantes realizan no sólo la simulación transitoria del circuito (que da origen a la Fig. 4), sino también el análisis de Fourier de la señal de entrada y de salida, para comprobar efecto del procesado realizado por el circuito. La Fig. 5a muestra el espectro de la tensión en el divisor resistivo (señal VF1), mientras, que se puede comparar con la obtenida en la salida de la etapa (Fig. 5b, señal VF3). Puede observarse cómo en el primer caso prácticamente la componente de DC oculta la señal de pulso, mientras que en la salida el espectro muestra con nitidez los primeros armónicos de la señal bajo estudio, de forma que el armónico principal (aproximadamente a 1 Hz), contiene la información del pulso.

Tras obtener los resultados de simulación del circuito propuesto, los estudiantes verifican experimentalmente su funcionamiento empleando los componentes electrónicos

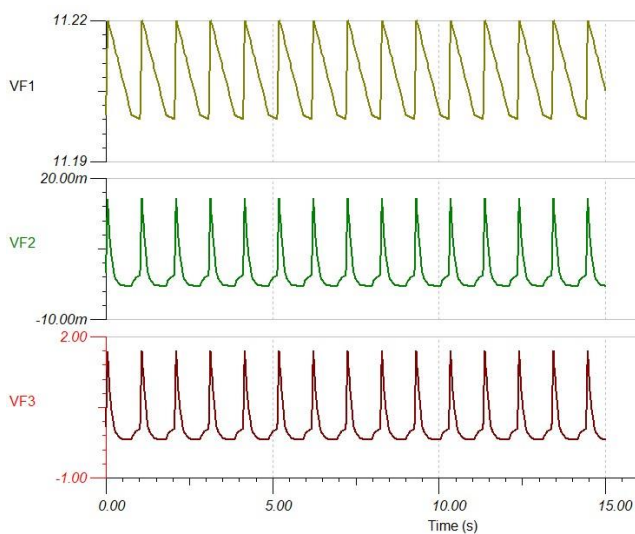
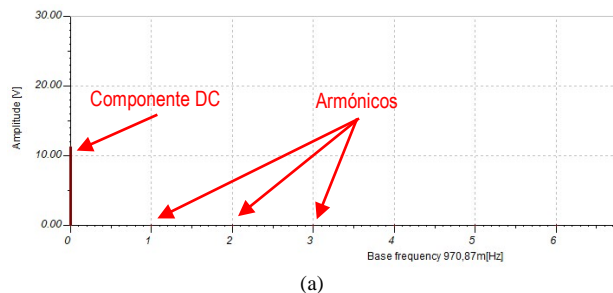


Fig. 4. Señales simuladas en Tina: Salida del sensor (VF1), tras el condensador de acoplo (VF2) y salida del amplificador (VF3)



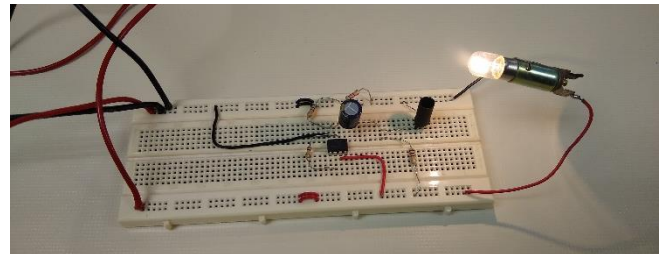
(a)

(b)

Fig. 5. Análisis espectral (simulación) de la señal de (a) entrada y (b) salida del circuito de acondicionado

disponibles (Fig. 6a), y comprobando con el osciloscopio la presencia de señal variable de frecuencia compatible con el pulso del estudiante. En este estadio del trabajo, los estudiantes deben comprobar el funcionamiento del circuito, comparando la señal procedente del divisor resistivo (con la entrada del osciloscopio en modo de corriente alterna, AC), con la señal en la salida del circuito (Fig. 7).

La selección de un sensor de luz de muy baja selectividad como es una LDR permite observar el efecto de las interferencias en un proceso de medida. Para mantener su efecto limitado, el sensor es rodeado por un cilindro de material termo retráctil negro que limita la incidencia de luz a su parte superior (Fig. 6b). A diferencia de las experiencias docentes de laboratorio usuales, en las que las condiciones de trabajo se establecen cuidadosamente para evitar la intervención de señales externas a la que se quiere medir, en este proyecto el estudiante puede llegar a observar la intervención de señales ajenas al proceso de medida, causadas, principalmente en nuestro caso, por el parpadeo de las luces del laboratorio, a una frecuencia de 100 Hz (Fig. 8). Esta situación es aprovechada para que los estudiantes reflexionen sobre este fenómeno y propongan diferentes opciones para minimizar su efecto.



(a)

(b)

Fig. 6. (a) Montaje experimental para la medida del pulso cardiaco y (b) detalle de la LDR. La entrada de luz se limita mediante una pieza de material termorretráctil

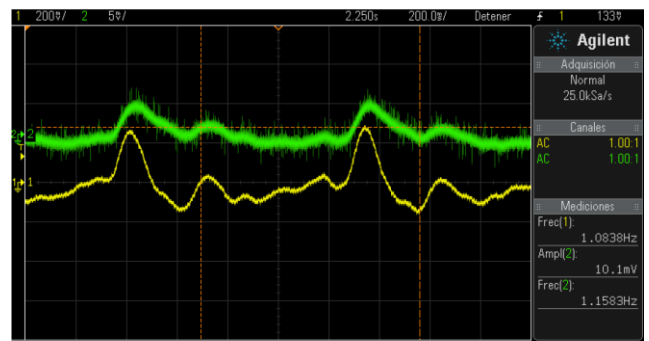


Fig. 7. Señal de pulso en el divisor resistivo (verde) y a la salida de la etapa amplificadora (amarillo)

Además, permite analizar la importancia de seleccionar una adecuada frecuencia de muestreo en la digitalización de la señal que se procesa. En este sentido, se sugiere a los alumnos que configuren la última etapa experimental del trabajo (la adquisición de las señales mediante una DAQ) con una frecuencia que sub-muestree la señal, de forma que no sólo filtre la interferencia de 100 Hz existente, sino que recupere sólo las primeras componentes de frecuencia de la señal bajo estudio, que contienen la información que se pretende recuperar, reduciendo las exigencias de la electrónica implicada en el proceso.

Finalmente, los estudiantes configuran desde el PC el sistema de adquisición (Fig. 9) para realizar una toma de medidas de entre 20 y 40 segundos, que represente en tiempo real el espectro en frecuencia de la señal mediante la obtención de su transformada de Fourier. Las Fig. 10 y Fig. 11 muestran los resultados obtenidos en dos muestreos de 20 s y 40 s, respectivamente, en dos equipos diferentes de estudiantes. En ambos casos (Fig. 10b y Fig. 11b) puede observarse un pico en frecuencia próxima a 1 Hz, correspondientes a las pulsaciones del individuo monitorizado.

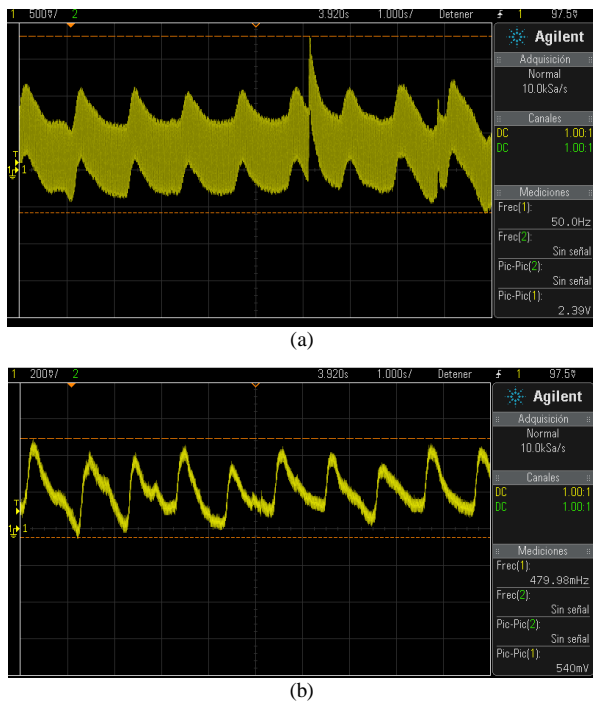


Fig. 8. Ejemplo de señales observadas a la salida de la etapa de acondicionado: (a) afectadas por la interferencia de 100 Hz de parpadeo de las lámparas fluorescentes y (b) reduciendo su efecto eliminando la iluminación en el puesto de medida

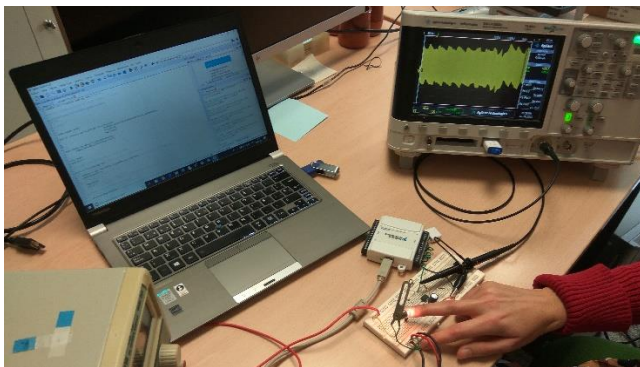


Fig. 9. Ejemplo de medida experimental automatizada del pulso cardíaco

V. RESULTADOS

Esta experiencia fue llevada a cabo por 74 estudiantes agrupados en 37 equipos. Todos ellos alcanzaron el nivel previsto de consecución de objetivos.

Cada grupo ha elaborado un breve portfolio, que recoge la documentación específica del trabajo desarrollado para cada actividad (diseño, simulación eléctrica, caracterización experimental) recogiendo los análisis, instrumentación y resultados más relevantes, además de los códigos desarrollados. Al elaborar el portfolio, los estudiantes deben reflexionar sobre los resultados obtenidos para justificarlos convenientemente. Así, por ejemplo, diversos grupos constataron la presencia de un segundo pico en el espectro de la señal adquirida, en ocasiones incluso mayor que el correspondiente a la frecuencia del pulso, alrededor de los 0 Hz (tensión continua, Fig. 11b). Tras analizar en detalle el comportamiento del circuito, se propuso la hipótesis de que se puede producir una variación lenta del nivel de continua en la señal del sensor, asociada a pequeños cambios en la posición relativa del grupo formado por emisor de luz, dedo y receptor, motivado por la falta de una estructura que los mantenga fijos. Esas variaciones no son filtradas por el condensador de acople, (Fig. 3), trasladándose a lo largo de toda la cadena de medida. Para comprobar la hipótesis, los estudiantes simularon de nuevo el circuito, añadiendo a las variaciones asociadas al sensor una segunda señal senoidal de baja frecuencia y amplitud (100 mHz y 5 mV, respectivamente) que reprodujese el efecto. Los resultados en los tres puntos de simulación, VF1, VF2 y VF3 se muestran en la Fig. 12. Un

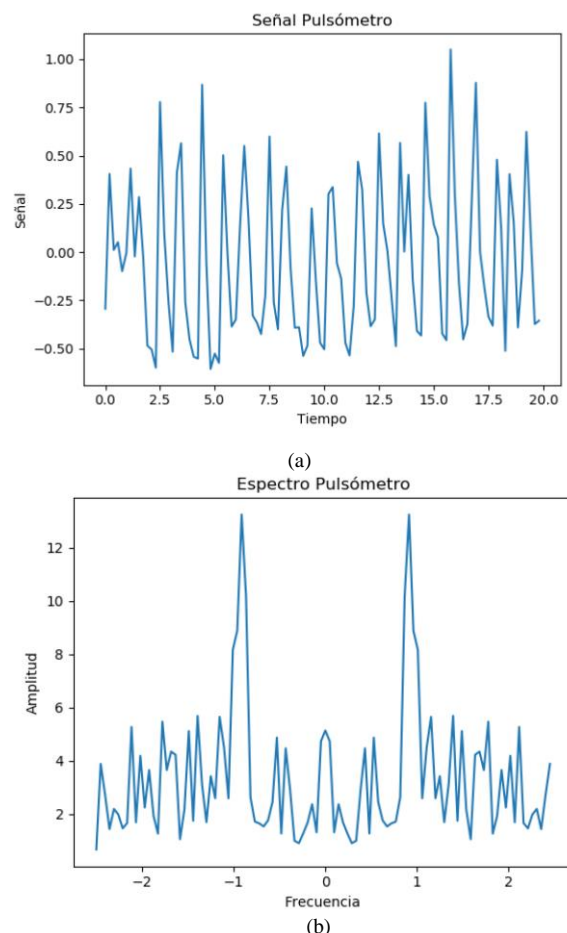


Fig. 10. Estimación de la frecuencia de pulso con 20 segundos de toma de datos: (a) señal temporal y (b) espectro final

análisis espectral de los resultados de simulación (Fig. 13), muestran el pico asociado al nivel de DC mucho mayor que

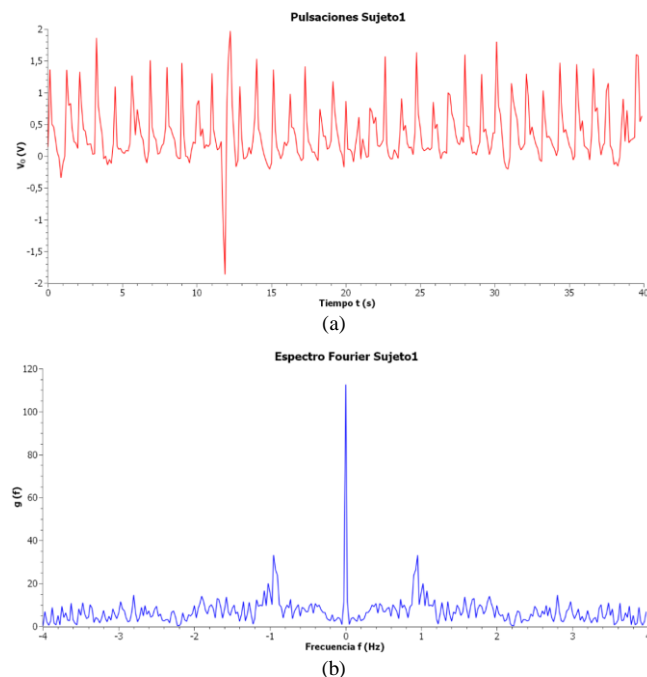


Fig. 11. Estimación de la frecuencia de pulso con 40 segundos de toma de datos: (a) señal temporal y (b) espectro final

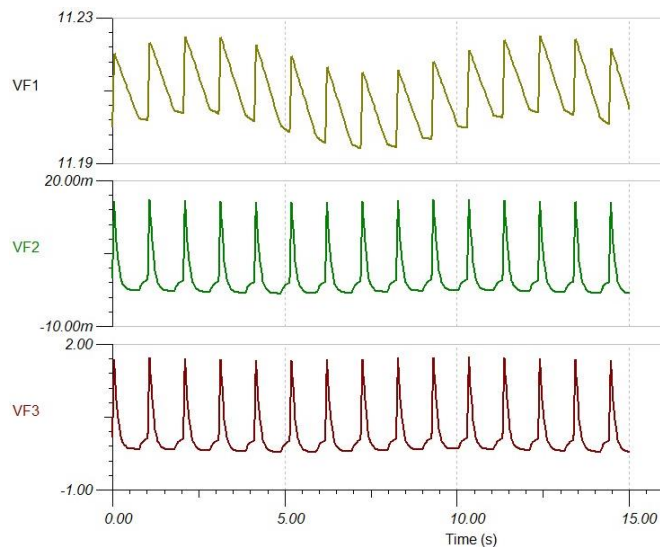


Fig. 12. Simulación en Tina de las señales obtenida en los puntos VF1, VF2 y VF3 para una señal con nivel de DC lentamente variable superpuesto a la señal de pulso

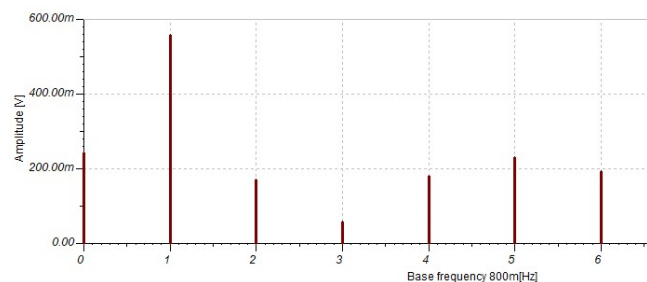


Fig. 13. Espectro de la señal de salida para el caso mostrado en la Fig. 12. Se aprecia el aumento de intensidad relativa del nivel de DC respecto del armónico asociado al pulso en la salida el circuito respecto al obtenido inicialmente (Fig. 5b)

en el caso inicial, que justifica perfectamente los resultados experimentales obtenidos.

Por otra parte, destacar que en varios grupos los propios estudiantes propusieron extender el estudio con la modificación de la topología para su compatibilidad con una tensión de alimentación de 5 V, de forma que sea posible obtener un sistema portátil alimentado directamente desde el PC de control a través del puerto USB. Creemos que esto pone de manifiesto la motivación e interés que ha suscitado la experiencia propuesta.

La encuesta realizada para establecer el grado de satisfacción alcanzado con la experiencia arroja como resultado una valoración positiva: de los 74 estudiantes implicados en la asignatura respondieron a la encuesta 62, con una valoración de 4.2 sobre 5, y destacaron: i) la elección del sistema de medida de parámetros biométricos al considerarlo un ejemplo completo real y actual, en comparación con la mayoría de las experiencias de laboratorio del grado; ii) la metodología seguida, desde el planteamiento hasta simulación y el montaje final con automatización de medidas, haciendo uso de diferentes herramientas que además son de uso gratuito de forma que facilitan una distribución óptima del tiempo para cada estudiante.

VI. CONCLUSIONES

El proyecto presentado favorece la integración de conocimientos teóricos y prácticos en una actividad completa contextualizada y real cuyo desarrollo pretende mantener un cierto grado de autonomía de los alumnos, a través de una tutoría inspirada en el refuerzo, de forma que sean los alumnos los que ejecuten todos los pasos tendentes a resolver el problema propuesto: planteamiento, búsqueda y aplicación de recursos disponibles, obtención de resultados y conclusiones, elaboración de un informe, dentro de un calendario preestablecido, poniendo en valor los conocimientos y habilidades adquiridas, siguiendo los pasos del método científico de forma similar a como se trabaja en tanto en el mundo académico como en la empresa, de forma que globalmente consideremos supone una experiencia de gran interés formativo, que dota a los alumnos no solo de competencias específicas sino también transversales.

Por otra parte, el empleo de herramientas TIC resulta fundamental. Además, el hecho de emplear software no comercial, permite a los estudiantes disponer de los recursos informáticos en sus ordenadores, y con ello cierta independencia respecto de la disponibilidad del laboratorio, así como la posibilidad de trabajar de forma asíncrona, de acuerdo con su propio calendario. En este sentido, la migración de Matlab –utilizado en el proyecto anterior [11] a Python confiere una mayor flexibilidad, al ser un lenguaje de programación empleado en otras asignaturas y Departamentos de la Sección de Física, en la que se encuadra el Grado objeto de este proyecto, así como en empresas con base tecnológica (diseño y caracterización de sistemas microelectrónicos y programables, Deep Learning e inteligencia artificial, minería de datos o modelado de procesos complejos).

REFERENCIAS

- [1] https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2019&estudio_id=20190124¢ro_id=100&plan_id_nk=447&sort=curs o
- [2] G. Solomon, "Project-Based Learning: a Primer," Technology and Learning, vol. 23, no. 6, pp. 20-30, Jan. 2003

- [3] A. Fernández-March, "Metodologías Activas para la Formación de Competencias," *Educatio siglo XXI*, no. 24, pp. 35 – 56, 2006
- [4] B. Warin, O. Talbi, C. Kolski and F. Hoogstoel, "Multi-Role Project (MRP): A New Project-Based Learning Method for STEM," *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 2, pp. 137-146, May 2016.
- [5] F. Martínez, L.C. Herrero and S. de Pablo, "Project-Based Learning and Rubrics in the Teaching of Power Supplies and Photovoltaic Electricity," *IEEE Transactions on Education*, vol. 54, no. 1, pp. 87-96, Feb. 2011.
- [6] Z. Zhang, C.T. Hansen and M.A.E. Andersen, "Teaching Power Electronics With a Design-Oriented, Project-Based Learning Method at the Technical University of Denmark," *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 1, pp. 32-38, Feb. 2016.
- [7] I. Osuna-Galán and A.M. Rosas-Mendoza, "Aprendizaje Basado en Proyectos y modelos matemáticos para estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica," *Latin American Journal of Physics Education*, vol. 11, no. 4, pp. 4309-1-7, Dec. 2017.
- [8] O. Esteban, R. Vergaz, X. Quintana and M. Caño-García, "A Spectrophotometer implementation as project-based learning in Photonics Engineering," *Óptica Pura y Aplicada*, vol. 52, no. 4, pp. 1-10, Nov. 2019.
- [9] A. Argüelles. Formación basada en competencias laborales. Ed. Limusa (1997)
- [10] D. P. Ausubel, J. D. Novak, H. Hanesian, *Psicología Educativa, un punto de vista cognoscitivo*, Editorial Trilla, México, 2009.
- [11] A. Márquez, J. Pérez-Bailón, B. Calvo, N. Medrano, S. Celma, 'Diseño y Caracterización Automatizada de un Ecualizador como ABP en el Grado en Física', Actas del Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica TAEE 2016, Sevilla, 2016.
- [12] Agilent Technologies, *Agilent InfiniiVision 2000-X Series Oscilloscopes User's Guide*, 2011.
- [13] National Instruments, *NI USB-6008/6009 Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device*, 2015.
- [14] <http://www.ti.com/tool/tina-ti>
- [15] M: Lutz, *Learning Python*, Ed. O'Reilly, 2013.
- [16] National Instruments, *NI-DAQmx Python API Documentation*, 2017.

Formación en Ingeniería y Cooperación Internacional: Diseño de drones acuáticos para monitorización de variables ambientales

Manuel A. Perales Esteve
dept. Ingeniería Electrónica
Escuela Superior de Ingeniería de
Sevilla
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
mperales@us.es

Sergio Toral Marín
dept. Ingeniería Electrónica
Escuela Superior de Ingeniería de
Sevilla
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
storal@us.es

Daniel Gutiérrez Reina
dept. Ingeniería Electrónica
Escuela Superior de Ingeniería de
Sevilla
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
dgutierrezreina@us.es

Abstract— La Oficina de Cooperación de la Universidad de Sevilla (US) financia anualmente actividades de voluntariado asociadas a proyectos de cooperación internacional. Este trabajo describe las experiencias de cooperación internacional realizadas a través de un proyecto de cooperación para la medida de la calidad del agua en el lago Ypacaraí, Asunción, Paraguay, mediante el uso de vehículos no tripulados de superficie. En los últimos tres años, un total de 8 alumnos de ingeniería han participado en actividades de voluntariado en este proyecto, incorporándose al grupo de trabajo contraparte en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (FIUNA) y participando en tareas de cooperación y desarrollo.

Keywords— Cooperación Internacional, Aprendizaje-servicio, Vehículos no tripulados, sostenibilidad

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la experiencia formativa de un conjunto de alumnos que en los últimos tres años han participado en actividades de voluntariado financiadas por la Oficina de Cooperación de la Universidad de Sevilla (US). Con estas actividades se consigue un doble objetivo: en primer lugar, la formación y sensibilización en materia de cooperación como formación integral del alumno en competencias transversales [1] y, en segundo lugar, el aprendizaje de ingeniería basado en un proyecto con un servicio social [2]. Sin embargo, hasta ahora no se ha evaluado la experiencia en cuanto a formación específica de ingeniería. En este artículo se realiza un pequeño estudio (dado el tamaño de la muestra) sobre la percepción que los cooperantes tienen del resultado de aprendizaje conseguido. Para ello, se ha realizado una encuesta anónima a los cooperantes, en la que se les ha preguntado expresamente por la experiencia formativa, usando como epígrafes fundamentales los que se deducen de los resultados de aprendizaje EUR-ACE para ingenierías [3].

El resto del artículo continua de la siguiente forma, la Sección II incluye el contexto del proyecto de cooperación, la Sección III describe el proceso de selección de los cooperantes. La Sección IV contiene la descripción de los drones acuáticos desarrollados en los proyectos de

cooperación. La Sección V describe los trabajos realizados por los cooperantes. Los objetivos docentes perseguidos por dichos trabajos se incluyen en la Sección VI. La Sección VII muestra los resultados obtenidos en las encuestas. Finalmente, la sección VIII incluye las principales conclusiones de este trabajo.

II. CONTEXTO DE LA ACTUACIÓN

Paraguay es un país con gran riqueza hídrica de aguas superficiales y subterráneas, con un generoso régimen pluvial, con condiciones climáticas muy favorables y con apreciable potencial de desarrollo por su disponibilidad de recursos naturales. Entre los recursos hídricos disponibles, el lago Ypacaraí es el mayor lago de agua dulce en Paraguay, con aproximadamente 70 km², y sus aguas sirven para consumo humano, agrícola y también como atracción turística (playa y deportes acuáticos). Un fenómeno que ocurre en este lago (y que es habitual en cuerpos de agua) es la eutrofización, que consiste en una excesiva acumulación de nutrientes debido a vertidos incontrolados que impide su ciclo de asimilación natural. Esto produce un crecimiento desmesurado de algas, que acaban por consumir el oxígeno disuelto del agua, creando unas condiciones dañinas para la ictiofauna, los humanos, etc. (Figura 1). Los brotes de cianobacterias causan una severa degradación de la calidad del agua. Grandes cantidades de fitoplancton y/o peces muertos que dan lugar a olores nauseabundos, causando enfermedades en el ganado y los seres humanos, incluso la muerte [4]. La presencia de cianobacterias está en la actualidad poco documentada, y hasta la fecha sólo se han realizado análisis de muestras tomadas manualmente.

La solución propuesta consiste en el aprendizaje cooperativo de una red de Vehículos Autónomos de Superficie (ASV, por sus siglas en inglés) mediante una red inalámbrica para su despliegue adaptativo en entornos dinámicos y cambiantes como el lago Ypacaraí, donde las características del lago cambian en base a la dinámica del medioambiente.

Los primeros prototipos se realizaron con financiación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y, desde el curso 16/17 y durante 4 años consecutivos, la financiación recibida de la Oficina de Cooperación de la Universidad de Sevilla ha permitido la realización de movilizaciones de investigadores de la Universidad de Sevilla (US) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (FIUNA) así como la participación de un total de



Fig. 2. Presencia de algas en el lago Ypacaraí.

8 cooperantes repartidos a lo largo de estos últimos 4 años. En la actualidad y desde marzo de 2019, se cuenta con una financiación recibida de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) a través de un consorcio liderado por la Universidad de Sevilla y el que participan la Universidad Loyola de Andalucía, la Fundación ETEA y la Fundación Ayesa, así como la FIUNA de la Universidad Nacional de Asunción y Alter Vida como socios locales.

III. SELECCIÓN DE COOPERANTES

La oferta de voluntariado se oferta a través de la Convocatoria de Ayudas para el Voluntariado Internacional lanzada anualmente por la Oficina de Cooperación de la US. En el contexto del proyecto y a lo largo de los últimos años se han ofertado un total de 8 plazas de voluntariado a realizar en la FIUNA (con desplazamientos al lago) durante un período de 45 días coincidiendo con el período estival en España. La oferta se realiza en régimen de concurrencia competitiva, valorándose la afinidad con la titulación requerida (estudiantes de ingeniería) y su experiencia previa en cooperación. La financiación recibida para el voluntariado cubre el desplazamiento, alojamiento y manutención, proporcionándoles el centro receptor (FIUNA) el acceso a sus laboratorios y material necesario para desarrollar su trabajo. En media, se presentaron un total de 8,25 alumnos por plaza ofertada, lo que muestra el interés de las actividades de voluntariado entre los estudiantes de ingeniería y su disposición a desplazarse y colaborar con otros grupos extranjeros. Los perfiles de los alumnos seleccionados son muy variados, incluyendo tanto a alumnos de grado como a alumnos de máster.

IV. DISEÑO DEL DRON ACUÁTICO

Durante los distintos proyectos de cooperación se han desarrollado hasta tres vehículos autónomos distintos denominados Cormorán I, II y III, tal y como se pueden ver en la Figura 2 (a)-(c). El nombre ha sido tomado por ave acuática proveniente de la familia Phalacrocorax. Los tipos I y II fueron desarrollados con fondos propios de la Universidad Nacional de Asunción a través de proyectos investigación financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El Cormorán I se desarrolló como prototipo y prueba de concepto, presentando muchas limitaciones en cuanto a su movilidad en lago debido a que la contaminación del mismo imposibilitaba el movimiento de la hélice de manera satisfactoria. No obstante, este diseño posibilitó la



(a) Cormorán I



(b) Cormorán II



(c) Cormorán III

Fig. 1. Fotografías de los distintos vehículos acuáticos desarrollados en los diversos proyectos de cooperación entre la Universidad de Sevilla y la Universidad Nacional de Asunción.

calibración de algunos de los sensores de calidad del agua que se han incorporado en las siguientes versiones, tales como pH, oxido disuelto, temperatura, y conductividad. Otro problema detectado con este prototipo fue la necesidad de diseñar una carcasa común a todos los sensores para evitar que las turbulencias en el agua provocadas por el movimiento del vehículo afecten a las medidas tomadas por los sensores. Esta primera versión estaba controlada remotamente por un mando de control y la autonomía de este era muy limitada 20-30 minutos. En cuanto a la participación de los cooperantes, se diseñaron algoritmos de planificación de movimientos utilizando algoritmos genéticos y se desarrolló un diseño de carcasa para los sensores.

El Cormoran II es un vehículo acuático de altas prestaciones (dimensiones de 4x2 m²), el cual se encuentra en fase de pruebas en estos momentos. El control de los motores del vehículo se va a realizar mediante la tarjeta Pixhawk con ardupilot. Como ordenador de a bordo se utilizará una tarjeta Nvidia Jetson TX2, la cual permitirá procesamiento de imágenes basado en redes neuronales convolucionales para la detección de obstáculos. A su vez, el vehículo dispone de otro sistema de detección de obstáculos basado en un LIDAR. Para la alimentación del vehículo, se disponen de dos baterías de 20 Ah y paneles fotovoltaicos para alargar la autonomía del mismo, tal y como se puede observar en la Figura 2(b). Los sensores de calidad del agua están basados en la plataforma Smart Water de Libelium. Esta plataforma es muy flexible y permite incorporar una gran cantidad de sensores de calidad del agua. La comunicación entre los sensores y el ordenador de a bordo se realizará mediante Zigbee para reducir el consumo de las comunicaciones y para poder colocar los sensores, y la tarjeta de control de los mismos, cerca de la superficie del lago. Para mejorar el posicionamiento mediante GPS del vehículo, se utilizará la estación base Reach RS+ basada en RTK GNSS, permitiendo una precisión de centímetros. El Cormorán II estará equipado con una sonda sumergible a distintas profundidades para tomar medias de calidad del agua distintos niveles. Por último, para implementar un sistema de telemetría remoto, el ordenador de a bordo estará equipado un módulo 4G para poder mandar los datos a la nube y ser procesados remotamente.

En cuanto al Cormoran III, es un vehículo desarrollado por la empresa peruana 4HELIX LABS, de menores dimensiones (1.3 x 0.95 m²) con respecto al Cormorán II, Figura 2(c). No obstante, la electrónica de control y los sensores son los mismos que en el caso del Cormorán II. El ordenador de a bordo será un Nvidia Jetson Nano, aunque también se está valorando utilizar una Raspberry Pi 4. A diferencia con respecto al Cormorán II, éste no dispone de una sonda sumergible a distintos niveles y tampoco de placas fotovoltaicas, por lo que se estima la autonomía de este será de unos 90 minutos. Hay que destacar que este vehículo ha sido desarrollado con fondos del proyecto AECID. Este vehículo también se encuentra en fase de pruebas, sin embargo, la validación del mismo ha sido llevada a cabo por la empresa 4HELIX LABS, por lo que las pruebas que se están desarrollando están enfocadas a la ejecución de misiones planificadas.

V. COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Los 8 cooperantes seleccionados (4 hombres y 4 mujeres) proceden todos de titulaciones de ingeniería, siendo cuatro de ellos de titulaciones de grado: dos del grado de Ingeniería de la Energía, uno del grado de Ingeniería de las Tecnologías Industriales y uno del doble grado de Ingeniería Eléctrica y Mecánica, y otros cuatro estudiantes de master: dos del master de Ingeniería Industrial, uno del Master de Ingeniería de Telecomunicación y uno del master de Ingeniería Electrónica, Robótica y Automática. Todos ellos se integraron a las actividades que en cada momento se desarrollaban considerando su titulación de procedencia. Las tareas desarrolladas por los cooperantes fueron:

- Algoritmos de planificación de caminos (path planning) mediante el uso de algoritmos genéticos
- Diseño de una carcasa para los sensores

- Mejora del diseño de la sonda de sensores lacustres con profundidad ajustable
- Planificación de rutas local para evitar obstáculos
- Optimización de la eficiencia energética de paneles solares y baterías
- Optimización de la producción eléctrica de paneles fotovoltaicos mediante sistemas de refrigeración

VI. OBJETIVOS DOCENTES PERSEGUIDOS

Cuando se plantea una experiencia de cooperación internacional, el objetivo de ésta está implícito: cooperar con otras Universidades, normalmente en países con menor desarrollo tecnológico o social, para redistribuir en la medida de las posibilidades el conocimiento y favorecer el desarrollo de las comunidades con las que se coopera. No obstante, dado que se plantea a recién egresados de los títulos de grado o a estudiantes de máster, y como actividad de la Universidad, es lógico contemplar que pueda perseguir un cierto desarrollo de la formación de los cooperantes.

En el caso de las ingenierías, esto resulta más evidente si cabe que en otras titulaciones, dado que no se contempla en los planes de estudio, de manera obligatoria, la realización de prácticas en empresa ni ningún otro tipo de *Practicum* como sí sucede en otros grados.

De manera general, el objetivo docente fundamental de esta experiencia puede ser conseguir que los cooperantes, acostumbrados a una manera de afrontar los problemas de forma académica y en un entorno controlado, comprueben que pueden desenvolverse en otras situaciones. Exponer a los alumnos a un cambio cultural (*controlado*, en el sentido de que al menos el idioma no es una gran barrera) y a un primer momento de desarrollo de sus capacidades como ingeniero (no tanto de sus conocimientos)

A. Resultados de Aprendizaje EUR-ACE

El sello EUR-ACE(r) lo conceden las agencias de calidad a aquellas escuelas de ingeniería que acrediten que los egresados han llegado a una serie de resultados de aprendizaje [3]. Este sello de calidad tiene mucha importancia, pero en cualquier caso no es esto lo que nos interesa, sino más bien cuáles son esos resultados de aprendizaje, que la Red Europea de Acreditación de Educación en Ingeniería (ENAAE) consideran fundamentales para acreditar un título de ingeniería. Estos resultados son, de manera resumida, los siguientes:

- 1. Conocimiento y Comprensión. Deben poseer conocimientos de las ciencias básicas, así como de las disciplinas de ingeniería, específicas de su área así como multidisciplinarias.
- 2. Análisis en ingeniería. Deben ser capaces de analizar un problema de ingeniería, dividirlo en otros de menor tamaño y ser capaces de ver no sólo el aspecto técnico del problema sino también el resto de implicaciones (sociales, sanitarias, medioambientales...)
- 3. Diseño en Ingeniería. Deben adquirir las destrezas necesarias para realizar diseños de productos o procesos, así como para elegir las metodologías adecuadas.
- 4. Investigación. Deben ser hábiles para buscar y seleccionar bibliografía, normativas, etc. y realizar las

labores previas al diseño de los sistemas o procesos, así como llevar a cabo experimentos.

- 5. Práctica de la Ingeniería. De manera global, los graduados deben ser capaces de desarrollar las destrezas necesarias para la práctica de la ingeniería, como son los conocimientos técnicos, capacidad de desarrollo de proyectos, implementación de normativas, conocimiento de las implicaciones sociales de la ingeniería, o la organización de los recursos económicos necesarios para el desarrollo de proyectos industriales.
- 6. Elaboración de juicios. Deben ser capaces de elegir críticamente entre varias soluciones posibles, teniendo en cuenta no sólo aspectos técnicos sino también las implicaciones éticas o sociales de esta elección.
- 7. Comunicación y trabajo en equipo. Los graduados deben haber obtenido las destrezas necesarias para comunicar sus conclusiones y para trabajar en equipos multidisciplinares, incluso en contextos internacionales.
- 8. Formación Continua. Deben haber demostrado la capacidad de proseguir con su formación a lo largo de toda su vida profesional, de manera autónoma y no reglada o ayudándose de programas específicos de formación continua.

Se puede suponer *a priori* cuáles de estos objetivos de aprendizaje se entrenarán de una manera más efectiva en una experiencia de cooperación internacional, y resulta más complicado sin embargo desarrollar durante la formación reglada del grado. No obstante, es conveniente contrastar esta impresión con la de las personas que han realizado la experiencia de cooperación.

VII. ENCUESTA REALIZADA

Se ha realizado una encuesta anónima a los 8 cooperantes, usando medios telemáticos (Google Docs). Para garantizar el anonimato, dado lo pequeño de la muestra, no se han realizado preguntas que pudieran conducir a la identificación de las personas han respondido, como en qué año participaron, titulación de partida o género. Esto limita el estudio de los resultados, al no poder segmentar según estas variables. En cualquier caso, dado el tamaño de la población, cualquier segmentación resulta poco útil. De los 8 cooperantes a los que se pidió que contestaran a la encuesta, 6 lo hicieron. De estos 6, 4 respondieron en menos de 24h desde que se les mandó la invitación, y los otros dos durante la semana siguiente.

La encuesta se ha dividido en tres partes. En una primera parte se realizan preguntas de índole general, para evaluar el grado de satisfacción de los cooperantes, con la experiencia de cooperación y también con el aspecto formativo de la misa. En la segunda parte se detallan los 8 resultados de formación del sello EUR-ACE, indagando sobre el grado de cumplimiento que se obtiene en cada uno de ellos. La tercera parte de la encuesta, de respuesta abierta, se ha diseñado para que los cooperantes puedan proponer mejoras o cambios en el proceso, sobre todo en lo que tiene que ver con su dimensión formativa.

En la siguiente tabla se muestran las preguntas realizadas, con indicación de si la respuesta era cuantitativa (de 1 a 5) o cualitativa (textual). El primer bloque corresponde a las preguntas de 1 a 8; el segundo bloque son las preguntas de 9 a

16; el tercer bloque lo comprenden las últimas 4 preguntas, de la 17 a la 20.

TABLE I. PREGUNTAS DE LA ENCUESTA

Nº	Pregunta (tipo de respuesta)
1	Expectativas de formación (1:5)
2	Realidad de la formación obtenida (1:5)
3	¿En qué aspecto ha mejorado tu formación como Ingeniero con la experiencia? (textual)
4	Valora tu colaboración con el proyecto (1:5)
5	Valora globalmente tu experiencia de cooperación internacional (1:5)
6	Valora tu convivencia con los demás cooperantes (1:5)
7	Valora tu relación con los investigadores de la Universidad de destino (1:5)
8	Valora cómo te has desenvuelto en un país extranjero (1:5)
9	Resultado 1: Conocimiento y Comprensión (1:5)
10	Resultado 2: Análisis en Ingeniería (1:5)
11	Resultado 3: Diseño en Ingeniería (1:5)
12	Resultado 4: Investigación (1:5)
13	Resultado 5: Práctica de la Ingeniería (1:5)
14	Resultado 6: Elaboración de Juicios (1:5)
15	Resultado 7: Comunicación y trabajo en equipo (1:5)
16	Resultado 8: Formación Continua (1:5)
17	Aspectos que se pueden mejorar en la selección de candidatos (textual)
18	Aspectos que se pueden mejorar en la Formación inicial de los candidatos en la Universidad de Origen (textual)
19	Aspectos que se pueden mejorar en la acogida y formación en la Universidad de Destino (textual)
20	Algún otro aspecto que pienses que puede ser importante para mejorar la experiencia, desde el punto de vista formativo (textual)

VIII. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha dicho anteriormente, la validez de los resultados se debe matizar por el tamaño de la muestra, y sólo nos interesará la existencia de tendencias que se repitan mucho, dado que 6 es un número pequeño.

A continuación se analizarán los resultados, separados en las diferentes partes de la encuesta. Se hará un análisis de las respuestas a las preguntas con valoración numérica, y se comentarán también las respuestas más recurrentes a las preguntas con contestación abierta (textual).

A. Preguntas generales

Las dos primeras preguntas (Expectativas de formación y realidad de la formación obtenida) muestran en general unos resultados muy favorables. Es de destacar que la realidad de la formación superó la expectativa que tenían, en la gran mayoría de los casos. La media de valoración de la formación recibida llega a los 4.5 puntos sobre 5, lo que se puede considerar un muy buen resultado.

En la Fig. 3 se muestran las 6 respuestas a las dos primeras preguntas, destacando el muy buen resultado del proceso en la mayoría de los casos. Un total de 4 de los 6 encuestados valoraron con 5 la formación obtenida con la experiencia.

En la Fig. 4 se pueden ver las medias de las respuestas a las preguntas de 4 a 8. Es de destacar que, salvo en la

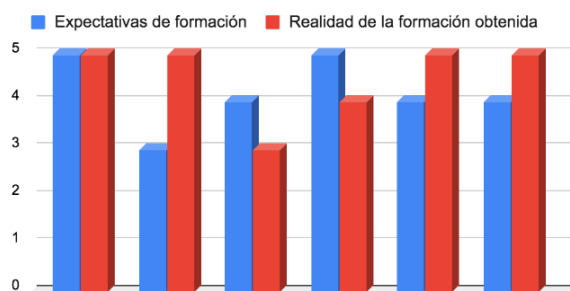


Fig. 3 Respuestas individuales a las preguntas 1 y 2.

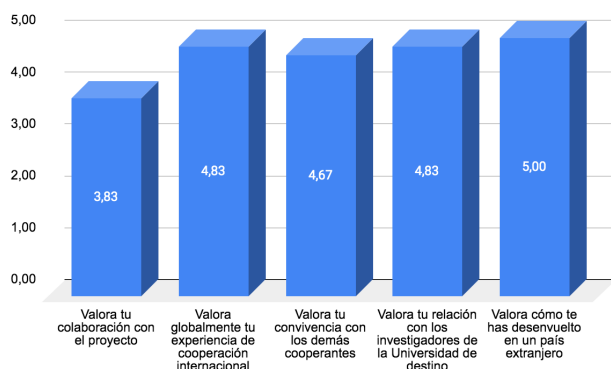


Fig. 4 Medias de las respuestas 4 a 8.

valoración de la colaboración con el proyecto, las demás consiguen puntuaciones por encima del 4.5 sobre 5. La menor puntuación de la pregunta 4 se puede deber a una visión modesta o pesimista de la contribución de su trabajo al proyecto global.

Respecto a la pregunta 3, destacaron en su mayoría que era la primera vez que aplicaban conocimientos a un problema real, y que eso les motivó mucho a la hora de buscar soluciones, viendo que no se trataba de algo teórico, sino que el dron acuático estaba allí y tenían que terminar de montarlo y calibrarlo.

B. Resultados EUR-ACE

El segundo bloque se destinó al análisis de los resultados de aprendizaje del sello EUR-ACE, usados como métrica de lo que se espera de la formación de un ingeniero. En la Fig. 5 se muestran dichos resultados. Es significativo que todas las respuestas están, en media, por encima del 4 sobre 5. Resulta curioso que la que más puntuación obtiene es la referida al primer resultado de aprendizaje (Conocimiento y Comprensión), más por ejemplo que el resultado 4 (Investigación) o el 5 (Práctica de la ingeniería). A la vista de las respuestas, parece que los cooperantes valoran más los conocimientos adquiridos que el desarrollo práctico realizado.

C. Propuestas de mejora

En el tercer bloque de la encuesta se les preguntó sobre posibles mejoras que viesen convenientes, sobre todo respecto a la formación recibida.

- En respuesta a la pregunta 17, todos consideraron que el proceso de selección es correcto.
- Todos ellos, igualmente, piensan que sería conveniente un pequeño curso previo para estar más al día de lo que

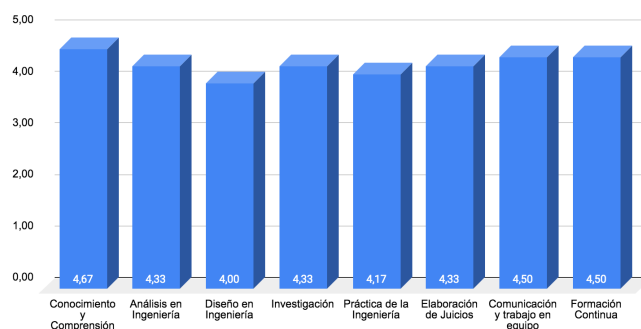


Fig. 5 Medias de las respuestas 9 a 16

se vaya a realizar en la cooperación (programación Python, sistemas de seguimiento, sensores...)

- La acogida de la Universidad de destino (pregunta 19) fue valorada como muy positiva, destacando únicamente que sería bueno disponer de ayudas para la búsqueda de alojamiento, pero nada destacable respecto a la formación.
- En la última pregunta volvieron a destacar la cuestión del alojamiento, e incluso apuntaron que la experiencia se les hizo corta (2 meses) para poder ser más práctica.

IX. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos por la encuesta, y teniendo en cuenta el conocimiento que los profesores a cargo de la experiencia han tenido también, se pueden sacar algunas conclusiones:

- La experiencia de Cooperación Internacional llevada a cabo en colaboración con la Universidad de Asunción está dando frutos, no sólo en lo que se refiere a resultados de cooperación (transferencia de conocimiento) sino también como recurso docente.
- La implicación de los cooperantes en un proyecto de investigación ya en marcha, con resultados visibles, les resulta muy interesante y estimulante.
- Los cooperantes entienden que la experiencia les ha reportado beneficios en su formación como ingenieros, aunque inicialmente no era ese su objetivo.
- Realizando una formación inicial más específica en las tareas a desarrollar, estiman que el rendimiento de la cooperación sería mayor, su aportación al proyecto más fructífera y probablemente el resultado formativo de la experiencia también fuese más completo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con la Ayuda y financiación de la Oficina de Cooperación de la Universidad de Sevilla y los proyectos I+D+i FEDER Andalucía 2014-2020 con Ref. US-1257508 y Plan Estatal 2017-2020 Retos Ref. RTI2018-098964-B-I00, así como del Contrato de acceso al Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo del programa propio de I+D+i de la Universidad de Sevilla

REFERENCES

- [1] Chan, W. W. (2004). International cooperation in higher education: Theory and practice. *Journal of studies in International Education*, 8(1), 32-55.

- [2] Krishnan, S. (2011). Project-based learning with international collaboration for training biomedical engineers. In 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 6518-6521).
- [3] ENAEE. "Criterios y directrices. Marco EUR-ACE", disponible online: https://www.enace.eu/wp-content/uploads/2019/05/EAFSG-Word_Spanish_20190510.pdf
- [4] Codd, G. A., Lindsay, J., Young, F. M., Morrison, L. F., & Metcalf, J. S. (2005). Harmful cyanobacteria. In Harmful cyanobacteria (pp. 1-23). Springer, Dordrecht.

Optimización del entrenamiento en el manejo y mantenimiento de equipos médicos mediante el uso de simuladores virtuales

Raúl Alcaraz
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, España
raul.alcaraz@uclm.es

Arturo Martínez-Rodrigo
Facultad de Comunicación
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, España
arturo.martinez@uclm.es

César Sánchez
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, España
cesar.sanchez@uclm.es

Resumen—En los últimos años, la regulación formativa en el ámbito de la tecnología sanitaria ha experimentado un gran avance en España, gracias a la aparición de multitud de titulaciones universitarias en el campo de la Ingeniería Biomédica, así como a la reciente creación del ciclo formativo de grado superior (CFGS) en Electromedicina Clínica. Sin embargo, todavía no se ha prestado demasiada atención a las metodologías de enseñanza-aprendizaje que se deberían emplear para formar de manera eficaz y eficiente a los estudiantes de estas titulaciones. Así pues, en el presente trabajo se describe un experimento en el que se ha analizado el efecto de usar simuladores virtuales en la formación sobre el manejo y mantenimiento de respiradores de cuidados intensivos. El análisis se ha conducido tanto para un conjunto de estudiantes matriculados en una asignatura optativa de cuarto curso de un grado en ingeniería de telecomunicación, como para otro grupo de alumnos matriculados en un CFGS. En ambos casos se ha observado que el uso de estas herramientas ha permitido a los estudiantes alcanzar un conocimiento más profundo de cómo trabaja el equipo, así como un manejo mucho más eficiente para configurar los parámetros técnicos requeridos para su adecuada verificación según la normativa vigente. Además, también se ha apreciado que el uso de simuladores ha permitido reducir significativamente el tiempo de uso del equipo real, tanto en el proceso de formación como en el de evaluación de los estudiantes. Este aspecto es especialmente interesante, ya que el acceso a buena parte del equipamiento médico está bastante restringido en el entorno docente por su alto coste.

Index Terms—Entrenamiento Práctico, Equipos Médicos, Ingeniería Clínica, Respiradores, Simuladores Virtuales.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, se puede definir a la *Electromedicina* como la especialidad que estudia y analiza el cuidado de la salud desde el punto de vista de la tecnología sanitaria. En otras palabras, consiste en la correcta planificación, aplicación y desarrollo de equipos y técnicas utilizadas en los exámenes y tratamientos médicos, así como de su control de calidad, y del control y prevención de los riesgos asociados [1], [2]. En los países anglosajones, a esta especialidad se le conoce como *Ingeniería Clínica*, y se considera una rama particular de la *Ingeniería*

Biomédica. No obstante, las funciones y atribuciones de estos profesionales pueden variar de un país a otro [3].

Entre los profesionales de la electromedicina que se encuentran en España, se puede diferenciar a los *Ingenieros Clínicos* de los *Técnicos de Electromedicina*. Ambos tienen funciones distintas, pero siempre orientadas a solucionar y facilitar cualquier problema relacionado con el uso de la tecnología electrónica en el ámbito de la medicina, dentro del ciclo de vida completo del equipamiento sanitario, es decir, durante su adquisición, instalación-validación, mantenimiento, uso y retirada al final de su vida útil.

Al ingeniero clínico se le puede considerar como aquel profesional que apoya y promueve el cuidado del paciente mediante la aplicación de la ingeniería y los conocimientos de gestión a la tecnología médica. Se encargará, por tanto, de la gestión y la aplicación de dicha tecnología para optimizar la prestación de la asistencia sanitaria [1], [4]. De forma más detallada, las funciones de este profesional incluyen la capacitación y la supervisión de los técnicos de electromedicina, la cooperación con las autoridades sanitarias y entidades de certificación en el hospital (inspecciones y auditorías), y la asesoría tecnológica al personal del hospital (es decir, médicos, administradores, informáticos, etc.). En base a su experiencia clínica, este ingeniero también puede asesorar a los fabricantes de productos sanitarios. Finalmente, este profesional también debe supervisar muy de cerca la progresión del estado de la técnica con el fin de reorientar las modalidades de contratación y compra de la tecnología sanitaria en el hospital.

Por su parte, el técnico de electromedicina será el profesional cuya misión será planificar, gestionar y supervisar la instalación y el mantenimiento de equipos y sistemas de electromedicina, o bien ejecutar dicha instalación y mantenimiento, bajo criterios de calidad, y en condiciones de seguridad y cumplimiento de la normativa vigente [1], [4].

Aunque durante décadas la formación de estos profesionales en España se ha dejado de la mano de las compañías del sector, en los últimos años ha cobrado especial relevancia tanto en el ámbito universitario como con en el sistema de formación profesional. De hecho, recientemente han aparecido multitud

Este trabajo se ha financiado a través del Plan Estratégico 2017–2020 de la Escuela Politécnica de Cuenca (programa CD–AFP20), así como con fondos propios de la Facultad de Comunicación, Universidad de Castilla-La Mancha.

de títulos universitarios de grado y de máster en ingeniería biomédica [5], muchos de los cuales prestan bastante atención a la gestión de la tecnología sanitaria [6]. Además, desde hace muy pocos cursos la Universidad Carlos III de Madrid oferta el primer título oficial de Máster Universitario en Ingeniería Clínica [7]. En relación a la formación profesional, en el año 2014 algunos de los autores de este trabajo participaron en la elaboración del título de Técnico Superior en Electromedicina Clínica, el cual se publicó un año más tarde a través del Real Decreto 838/2015 [8]. Además, a día de hoy este título se está impartiendo en multitud de centros de enseñanza profesional de siete comunidades autónomas [9].

A pesar de este importante avance en la regulación formativa del sector de la electromedicina, hasta la fecha no se le ha prestado mucha atención a las metodologías de enseñanza-aprendizaje que se deben emplear para formar de manera óptima a estos profesionales. De hecho, la consecución de las competencias que deben adquirir no es una cuestión trivial, ya que para poder gestionar y/o mantener cualquier equipo médico con cierto nivel de sofisticación es necesario conocer de primera mano sus prestaciones, su manejo y su funcionamiento. Para ello, además de la adquisición de los conocimientos teóricos sobre el funcionamiento de los equipos, será necesario un entrenamiento práctico sobre los mismos [10]. Sin embargo, éste no siempre es posible o está muy restringido, debido a que al alto coste de los equipos médicos limita su adquisición en los entornos docentes y su acceso en estancias hospitalarias está normalmente muy limitado por la asistencia sanitaria que deben prestar [11].

Ante este contexto, en el presente trabajo se describe un experimento que ha permitido hacer más eficiente la formación práctica en el uso y mantenimiento de los respiradores de cuidados críticos mediante el empleo de simuladores virtuales. Dichos equipos son de soporte vital para pacientes que normalmente se encuentran en estado crítico y su manejo es bastante complicado, por lo que la formación requerida para su gestión, mantenimiento y uso supone un reto muy importante para todo ingeniero clínico y técnico de electromedicina [12].

II. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS

II-A. Regulación normativa

Indudablemente, la masiva incorporación de la tecnología al sector médico que se ha producido en las últimas décadas le ha permitido a la medicina desarrollarse hasta límites insospechados, existiendo actualmente técnicas diagnósticas y terapéuticas de gran efectividad que eran impensables hace algunos años. Sin embargo, esta cuestión también ha llevado aparejada una creciente preocupación por garantizar la seguridad del paciente, ya que no es raro encontrar numerosos casos en los que un mal uso, una mala configuración y/o un mal funcionamiento de un equipo acaban provocando lesiones graves o, incluso, la muerte del paciente. A este respecto, en el documento anual elaborado por el Instituto ECRI que identifica los 10 riesgos más importantes asociados a la tecnología médica, el mal uso o configuración de los

respiradores de cuidados críticos lleva apareciendo en todas las ediciones de los últimos años [13].

Para evitar esta cuestión, cada vez más hospitales y centros sanitarios están implementando programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a la normativa existente [3], [14]. De hecho, la norma UNE-EN 62353 determina un procedimiento de ensayo tipo para realizar recurrentemente y después de la reparación de la mayoría de equipos electromédicos que pretende evitar su mal uso y su mal funcionamiento [15]. Dentro de dicho procedimiento, la norma determina que los equipos deben ser sometidos a tres tipos de ensayos diferentes, es decir, inspección visual, medidas de seguridad eléctrica, y ensayos funcionales. La inspección visual tiene como objetivo detectar una mala utilización y/o una mala configuración del equipo, además de identificar golpes, falta de higiene, uso de fungible inadecuado, etc. Las medidas de seguridad eléctrica están encaminadas a garantizar que en su funcionamiento normal el equipo no provocará ningún tipo de descarga eléctrica sobre el paciente que le pueda poner en riesgo. Finalmente, los ensayos funcionales del equipo buscan garantizar su correcto funcionamiento en todas las operaciones que pueda implementar. Mientras que los dos primeros tipos de tests están claramente definidos en la norma UNE-EN 62353, los ensayos funcionales son tan específicos de cada equipo que existen normas adicionales, o son definidos específicamente por el fabricante. Así pues, en el caso de los respiradores de cuidados críticos, los ensayos funcionales a realizar de forma recurrente y después de reparación vienen definidos por la norma UNE-EN 60601-2-12 [16].

II-B. El caso particular del respirador de cuidados críticos

Un respirador es un dispositivo mecánico y no invasivo que permite al paciente respirar de forma artificial. Se puede emplear para compensar las deficiencias en la respiración normal o para establecer una forma de respiración prescrita para aquellos pacientes que no pueden respirar por sí mismos. Para llevar a cabo su función, el equipo suministra una presión positiva a los pulmones. Desde un punto de vista esquemático, tal y como se muestra en la Figura 1 este equipo está compuesto por cinco subsistemas básicos: (i) el mezclador de aire y oxígeno, (ii) el generador de presión, (iii) el sistema de control de todos los parámetros que intervienen en el proceso de respiración asistida, (iv) el circuito de respiración que incluye al paciente, a la válvula expiratoria y (opcionalmente) un humidificador, y finalmente (v) el sistema de monitorización de los aspectos más importantes que intervienen en el proceso y de generación de alarmas en caso de que ocurra un evento adverso.

Actualmente, estos dispositivos se clasifican de acuerdo al método que emplean para desarrollar la ventilación asistida. Así pues, la mayoría de respiradores de adulto son de ciclo respiratorio controlado por volumen, es decir, liberan un volumen predefinido de gas al paciente. Por su parte, la mayoría de los ventiladores infantiles son de ciclo respiratorio controlado por tiempo, de tal forma que suministran gas durante un tiempo de inspiración determinado. No obstante, cabe destacar que

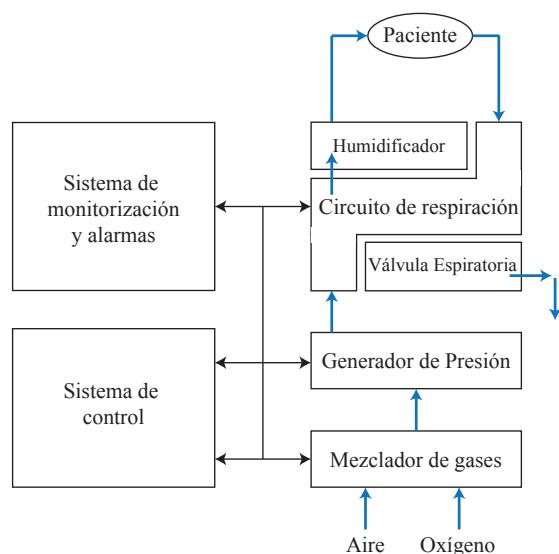


Figura 1. Diagrama de bloques de la estructura típica de un respirador de cuidados críticos. Las flechas azules marcan el flujo típico que sigue el gas que obliga a respirar al paciente.

en ambos casos los equipos suelen disponer de un control de límite de presión para prevenir que se alcancen presiones dañinas para los pulmones del paciente.

Según la norma UNE-EN 60601-2-12 [16] anteriormente mencionada, los ensayos de inspección funcional que se debe aplicar a este tipo de equipos se pueden resumir en los siguientes:

- Verificación del funcionamiento del equipo en batería. Para satisfacer las condiciones de garantía del suministro eléctrico especial complementario impuestas por la Inspección Técnica Complementaria número 38 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [17], muchos equipos de cuidados críticos incorporan una batería interna. La comprobación de que el equipo funciona bien cuando es alimentado mediante este medio es fundamental para asegurar que no existirán problemas ante un corte súbito de suministro eléctrico.
- Verificación del volumen insuflado al paciente.
- Verificación de la frecuencia respiratoria establecida.
- Verificación del ratio inspiración-espriación (ratio I:E), o en otras palabras, del tiempo que está inspirando y espirando el paciente.
- Verificación de la presión ejercida sobre los pulmones del paciente al introducir el aire.
- Verificación de la presión de PEEP o presión residual a la que se someten los pulmones durante la espiración para que un nuevo proceso inspiratorio no provoque un daño excesivo sobre la complianza de los pulmones.
- Verificación de que el sensor de oxígeno está estimando correctamente el porcentaje de oxígeno que compone el gas insuflado al paciente.
- Verificación de todas las alarmas incluidas en el equipo, tales como las que indican la presencia de un nivel de

oxígeno elevado en el aire, la existencia de una fuga en el circuito de paciente, la presencia de apnea, y la falta de presión en los gases de entrada.

Para llevar a cabo todas estas medidas de forma eficiente y fiable, existen equipos diseñados específicamente para tal fin. Estos dispositivos se denominan analizadores de gases y, además de medir las variables mencionadas anteriormente (es decir, volumen de gas, tiempo de inspiración y expiración, presión ejercida, etc.), también sustituyen al paciente, presentando una complianza y una capacidad pulmonar calibrada. Así pues, para llegar a cabo la inspección funcional de un respirador, es necesario conectar y configurar adecuadamente, tanto el respirador como el analizador, para cada uno de los ensayos que se acaban de describir.

III. EXPERIMENTO DOCENTE

III-A. Contexto del Experimento

Para desarrollar correctamente sus funciones, tanto el ingeniero clínico como el técnico de electromedicina, requerirán un extenso conocimiento sobre cómo funciona un respirador de cuidados críticos, cómo se usa, cuáles son los ensayos funcionales a realizarle, y cómo se implementan tales medidas. De hecho, el ingeniero clínico será el encargado de diseñar y establecer el plan de mantenimiento preventivo del centro sanitario, en el cual tendrá que determinar cuándo se va realizar el procedimiento de inspección de un respirador concreto, cuánto tiempo se dedicará al mismo, qué recursos materiales de los disponibles se emplearán, qué técnico de los disponibles lo implementará, etc. Por su parte, el técnico de electromedicina tendrá que supervisar los resultados de la inspección realizada por un compañero, o incluso la tendrá que implementar de acuerdo a las instrucciones indicadas por el ingeniero clínico. Así pues, aunque el ingeniero clínico necesitará formación adicional en la gestión eficiente de recursos y tareas, ambos tipos de profesionales requieren la misma formación en lo que se refiere al uso y verificación funcional del respirador.

De hecho, los autores de este trabajo imparten la misma docencia sobre el manejo y verificación del respirador a los estudiantes de una asignatura optativa (Equipos Audiovisuales en Electromedicina) de cuarto curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación [18], impartido en la Escuela Politécnica de Cuenca de la Universidad de Castilla-La Mancha, y aquellos cursando el módulo 1589 (Sistemas de Registro, Monitorización y Cuidados Críticos) de primer curso del Ciclo Formativo de Grado Superior (CFGS) en Electromedicina Clínica [8], impartido en el IES San José de Cuenca. En concreto, en ambos casos los estudiantes son formados para alcanzar los siguientes resultados de aprendizaje (RAs):

- Conocer los principios de la respiración asistida.
- Diferenciar los modos de soporte respiratorio.
- Identificar los principales componentes de un respirador de cuidados intensivos.
- Decidir los valores más óptimos para los parámetros implicados en una terapia respiratoria determinada.
- Configurar los parámetros técnicos más relevantes de acuerdo a una terapia respiratoria concreta.

TABLA I
ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE Y TIEMPO DEDICADO (EN HORAS) PARA CADA METODOLOGÍA DOCENTE

Actividad	Metodología 1		Metodología 2	
	Grado	CFGS	Grado	CFGS
Lección magistral	3h	6h	3h	6h
Lectura de manuales	3h	6h	3h	6h
Visualización de vídeos	1h	1h	1h	1h
Uso de simuladores	—	—	1.5h	1.5h
Entrenamiento sobre equipo	3h	3h	1.5h	1.5h

- Implementar ensayos de verificación funcional según la normativa vigente.
- Evaluar el resultado de los ensayos de verificación funcional según la normativa vigente.
- Evaluar el estado general de funcionamiento y seguridad que ofrece un respirador.

Para lograr esta formación, las actividades de enseñanza-aprendizaje empleadas en ambos casos son las mismas, pero el tiempo que se dedica a cada actividad es diferente, ya que los estudiantes presentan un perfil de entrada y una formación de base muy diferente. En la siguiente sección se describen con más detalle las actividades empleadas y los tiempos asignados.

III-B. Metodologías de Enseñanza-Aprendizaje

Durante dos cursos consecutivos, tanto en la asignatura de ingeniería como en la de CFGS, la formación de los estudiantes se ha desarrollado a través dos metodologías ligeramente diferentes. De hecho, la principal diferencia entre ellas ha sido que en el segundo curso se ha incluido el uso de simuladores virtuales como herramienta para el entrenamiento práctico de los estudiantes, antes del manejo del equipo real. No obstante, el resto de actividades de enseñanza-aprendizaje se han mantenido sin modificación alguna.

De forma más detallada, en la metodología empleada en el primer curso (la cual se denominará *metodología 1*), se ha usado fundamentalmente clases magistrales, lectura comprensiva de los manuales de usuario y de servicio del respirador Dräger Evita Infinity C300 y del analizador Fluke VT Plus HF, visualización de vídeos y, finalmente, formación práctica sobre el equipo. Como se puede observar en la Tabla I, el número de horas presenciales dedicadas en clase a las dos primeras actividades fue diferente para cada titulación, siendo el doble para el caso de la asignatura de CFGS que para la de grado en ingeniería. Por contra, tanto para la visualización de los vídeos como para el entrenamiento práctico sobre el equipo, en ambos casos se dedicó el mismo tiempo. No obstante, cabe mencionar que, salvo al acceso al equipo más allá del tiempo establecido, los estudiantes dispusieron de toda la documentación (es decir, transparencias de clase, manuales de los equipos, y vídeos) para poder revisarla y estudiarla cuando considerasen oportuno.

En el segundo curso, la metodología empleada (la cual se denominará *metodología 2*) fue sustancialmente la misma, excepto por el hecho de que el entrenamiento práctico sobre

el equipo real se redujo a cambio de emplear un simulador en el que se podía configurar virtualmente todas las funciones del respirador. Así pues, tal y como se puede observar en la Tabla I, el tiempo de entrenamiento sobre el equipo real se redujo a la mitad con respecto a la metodología 1, pero antes de esta actividad los estudiantes dispusieron de 2 horas de clase presencial para familiarizarse con el respirador a través del simulador virtual. No obstante, cabe mencionar que esta herramienta estuvo disponible para su uso en cualquier momento, de forma que los estudiantes la pudieron emplear fuera de clase para reforzar su manejo del equipo.

De hecho, el simulador virtual empleado fue el elaborado por la compañía Dräger para el respirador Evita Infinity C300, el cual está disponible en su página web [19]. Este simulador replica con total exactitud al equipo real, de tal forma que después de encenderlo se pueden configurar las características del paciente en lo que respecta a complianza, capacidad pulmonar y patología, así como a los principales aspectos técnicos y alarmas para una determinada terapia respiratoria. Una vez realizada la configuración del equipo, se puede comenzar la simulación de su funcionamiento para comprobar las principales gráficas asociadas a la respiración del paciente, es decir, la variación del volumen, de la presión y del flujo respecto del tiempo, tal y como se puede observar en la Figura 2. Además, una característica interesante de este simulador es que se puede visualizar en tiempo real el efecto de cualquier cambio en la configuración sobre dichas gráficas.

Para algunas de sus máquinas de anestesia, Dräger también ofrece simuladores de cómo se distribuye el flujo de gas en el circuito neumático interno de cada equipo [19]. Dado que esta característica no se ofrece para el simulador de ningún respirador y ante la similitud del funcionamiento de los respiradores y de las máquinas de anestesia [20], esta característica también se ha empleado en la metodología 2 como herramienta para intentar que los estudiantes comprendiesen mejor el funcionamiento básico del respirador. Como se puede observar en la Figura 3, una vez configurado el equipo para una determinada terapia respiratoria, se muestra el flujo de gas a lo largo de los distintos bloques y elementos. Se debe notar que este simulador también estuvo disponible para su uso por parte de los estudiantes en cualquier momento y no solo en las horas de clase presencial previstas.

III-C. Evaluación de Resultados

Los resultados de aprendizaje alcanzados por los estudiantes en cada metodología de enseñanza-aprendizaje se han evaluado a través de tres pruebas diferentes, diseñadas para tener un nivel de complejidad similar en los dos cursos considerados en cada una de las titulaciones (grado en ingeniería y CFGS). Así pues, en primer lugar los estudiantes tuvieron que realizar un test de 50 preguntas, cada una de las cuales disponía de cuatro opciones con una única solución válida. Esta prueba permitió comprobar hasta qué punto cada estudiante había alcanzado los resultados de aprendizaje relacionados con los planos cognitivos más bajos de la Taxonomía de Bloom, es decir, relacionados con el conocimiento y con la comprensión [21].

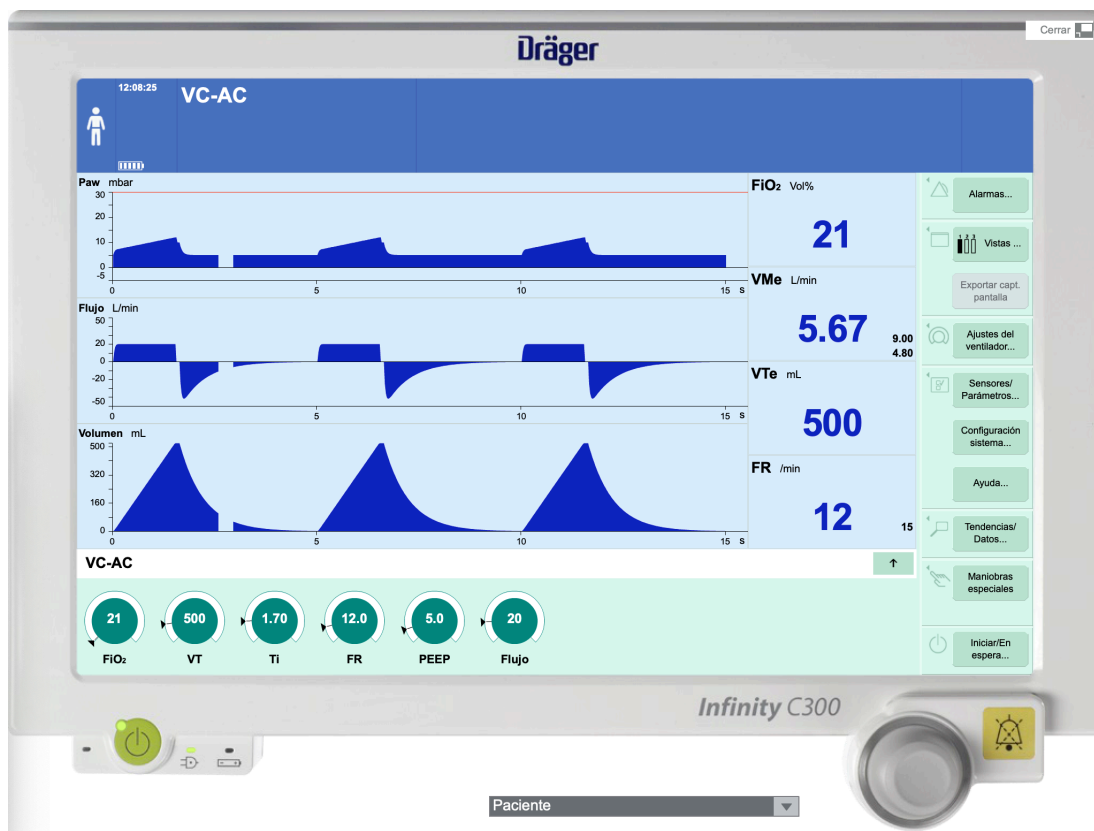


Figura 2. Pantalla principal del simulador diseñado por Dräger para el respirador Evita Infinity C300 una vez puesto en funcionamiento [19].

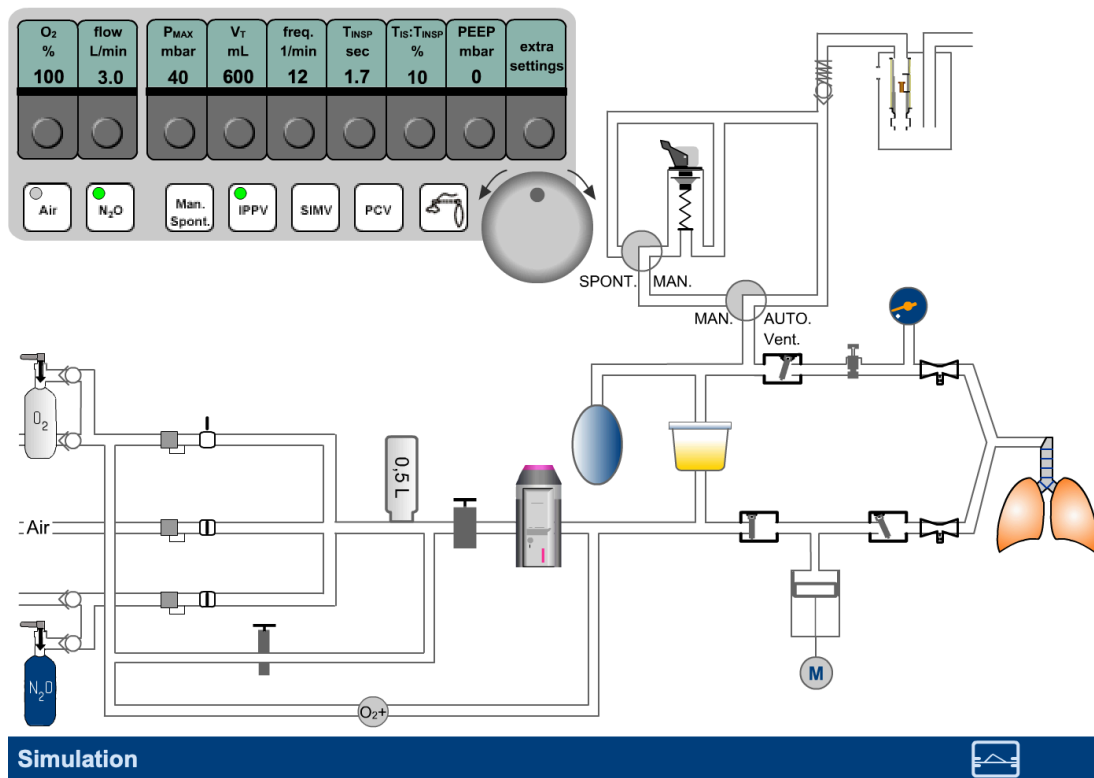


Figura 3. Simulación del flujo de gas en el interior de una máquina de anestesia Dräger Primus [19].

TABLA II
CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS ESTUDIANTES

		Metod. 1	Metod. 2	Sig. Estadística (p)
Grado	Estudiantes	17	19	—
	ECTS superados	166.2±8.7	164.2±11.4	0.554
	Nota media	6.54±0.71	6.44±0.58	0.788
CFGS	Estudiantes	19	15	—
	Acc: Bachillerato	7	7	0.583
	Acc: CFGM	12	8	
	Nota entrada	6.25±0.686	6.11±0.736	0.661

Por otro lado, para evaluar los resultados de los planos cognitivos más altos (es decir, aplicación, análisis, síntesis y evaluación), los estudiantes tuvieron que realizar dos pruebas prácticas relacionadas con el manejo y configuración de un respirador real. Mientras que en la primera prueba se solicitaba la configuración específica de todos los parámetros del respirador (alarmas, control de respiración, frecuencia respiratoria, volumen, ratio I:E, presión máxima, presión de PEEP, etc.) para una terapia respiratoria concreta, en la segunda se pedía la configuración, ejecución y documentación de tres de las verificaciones descritas en la Sección §II-B.

Se debe notar que las tres pruebas se calificaron numéricamente entre 0 y 10, pero en el caso de las dos evaluaciones prácticas también se consideró el tiempo empleado por el estudiante para completarlas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 36 estudiantes de grado y 34 de ciclo formativo han participado en el experimento, repartidos de la forma que se muestra en la Tabla II. Todos ellos fueron estudiantes de primera matrícula y presentaron un nivel de conocimiento previo similar. De hecho, comparando a través de un análisis Kruskal-Wallis el número de créditos ECTS superados hasta el momento de comenzar a cursar la asignatura, así como la nota media alcanzada, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los estudiantes del grado en ingeniería que siguieron cada una de las metodologías de enseñanza-aprendizaje. En la misma línea, un test de independencia Chi cuadrado tampoco mostró diferencias significativas entre el número de estudiantes de CFGS procedentes de bachillerato y los procedentes de un Ciclo Formativo de Grado Medio (CFGM). En cualquier caso, cabe indicar que los estudiantes procedentes de bachillerato siempre cursaron la opción de *ciencias e ingeniería* y aquellos procedentes de CFGM se habían especializado en ramas de electrónica, automática, informática o telecomunicaciones. En este caso, tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las notas de entrada al CFGS de los estudiantes que siguieron cada una de las metodologías propuestas.

Respecto a los resultados obtenidos durante el experimento planteado, en la Figura 4(a) se puede observar que los estudiantes de ambas titulaciones (grado y CFGS) que siguieron la metodología 2 de enseñanza-aprendizaje alcanzaron notas moderadamente más altas en el test de teoría. De hecho, aunque un análisis Kruskal-Wallis no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas entre los estudiantes siguiendo

cada una de las metodologías, la significación estadística (p) se ha encontrado muy próxima al umbral aceptado de 0.05 en ambos casos, es decir, $p = 0.079$ para la asignatura de grado y $p = 0.054$ para el módulo del CFGS.

Estos resultados sugieren una pequeña mejora en la consecución de los resultados de aprendizaje relacionados con los planos cognitivos más bajos del conocimiento y de la comprensión en los estudiantes bajo la metodología 2, la cual se podría deber al uso del simulador del flujo de gas dentro del respirador. La visualización de como se propaga el gas en la circuitería del respirador bajo la configuración de diferentes terapias respiratorias puede ayudar a una comprensión más profunda de cómo funciona este equipo y los valores que deberían presentar los parámetros técnicos a configurar. De hecho, este resultado está en línea con otros trabajos que han observado que el uso de animaciones dinámicas permiten a muchos estudiantes una comprensión más profunda de cómo trabajan algunos sistemas reales de muy diversos ámbitos, tales como la medicina, la economía, la electrónica, etc. [22]. No obstante, dadas las amplias posibilidades de la animación empleada, los autores consideran que el margen de mejora que se puede conseguir con su uso es todavía mayor y, por ello, en trabajos futuros se planteará un uso más extenso de este recurso durante las clases magistrales.

En el caso de las notas obtenidas en las dos evaluaciones prácticas, la diferencia entre los estudiantes siguiendo cada metodología es notablemente mayor que el caso anterior, tal y como se puede observar en las Figuras 4(b) y (c). De hecho, para las dos exámenes se han observado diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de estudiantes, siendo la significación $p = 0.011$ y $p = 0.009$ para el caso de ingeniería y de CFGS, respectivamente, en la prueba de manejo del equipo, y $p = 0.012$ y $p = 0.007$ en el examen de verificación funcional del mismo. Es de destacar que en ambos casos los estudiantes bajo la metodología 2 de enseñanza-aprendizaje han obtenido notas muy superiores, mostrando por tanto una mejoría notable en la consecución de los resultados de aprendizaje de los planos cognitivos más altos y de las competencias instrumentales que requieren los profesionales de la electromedicina. Estos resultados se podrían deber al hecho de que el uso de simuladores permiten a los estudiantes ganar confianza y juicio crítico sobre el manejo del equipo antes de tener que tratar con él *in situ*, tal y como también han demostrado otros trabajos que han analizado la formación de diferentes profesionales del ámbito clínico [23], [24].

Además, es interesante remarcar que la mejora se ha conseguido en un contexto en el que el tiempo de uso de los equipos reales se ha reducido al 50 %. En esta misma línea, las Figuras 5(a) y (b) también muestran que los estudiantes bajo la metodología 2 de enseñanza-aprendizaje requirieron aproximadamente un 30 % menos de tiempo para completar los dos exámenes prácticos. De hecho, para las dos pruebas se observaron diferencias estadísticamente significativas a través de un análisis Kruskal-Wallis ($p < 0.001$). Estos resultados son muy interesantes, ya que sugieren que el empleo de simuladores virtuales permite optimizar el tiempo de uso del

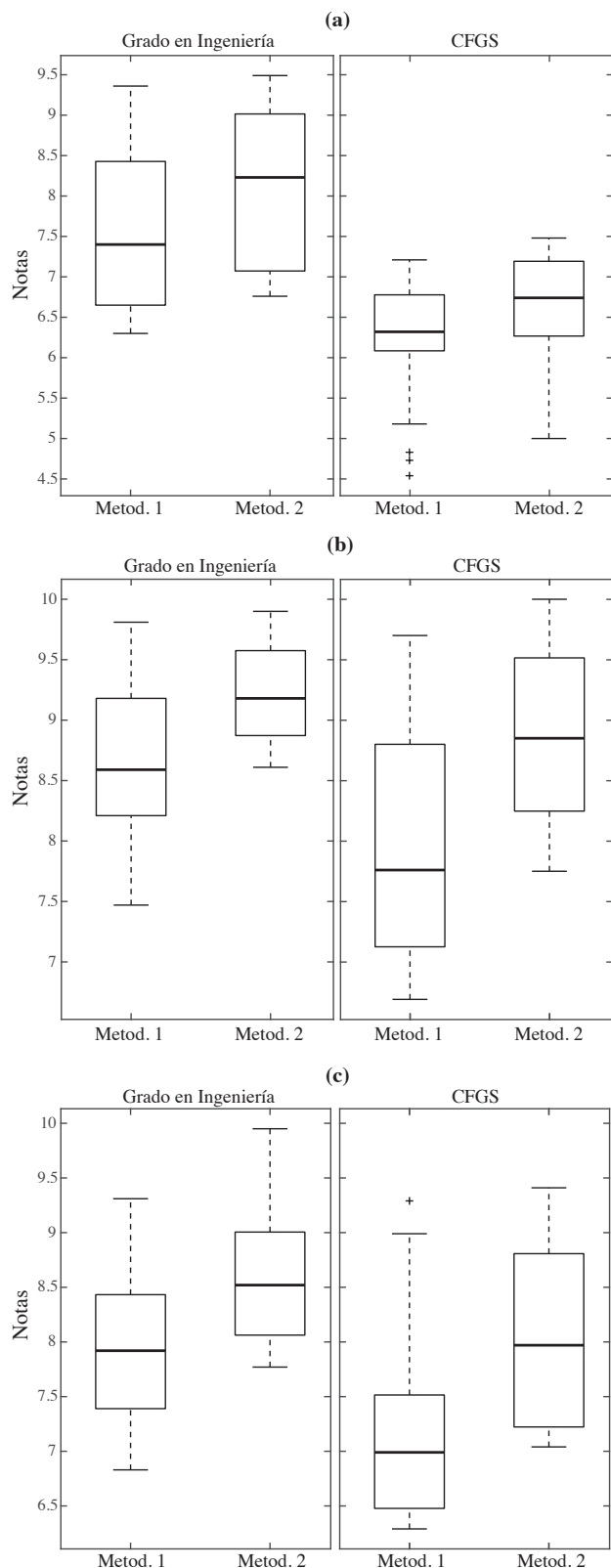


Figura 4. Diagramas de cajas y bigotes de las notas obtenidas por los estudiantes en (a) el test de teoría, (b) la prueba práctica de manejo, y (c) el examen práctico de inspección del respirador. Se presentan las notas obtenidas por los estudiantes considerados en cada metodología de enseñanza-aprendizaje y en cada titulación (grado y CFGS).

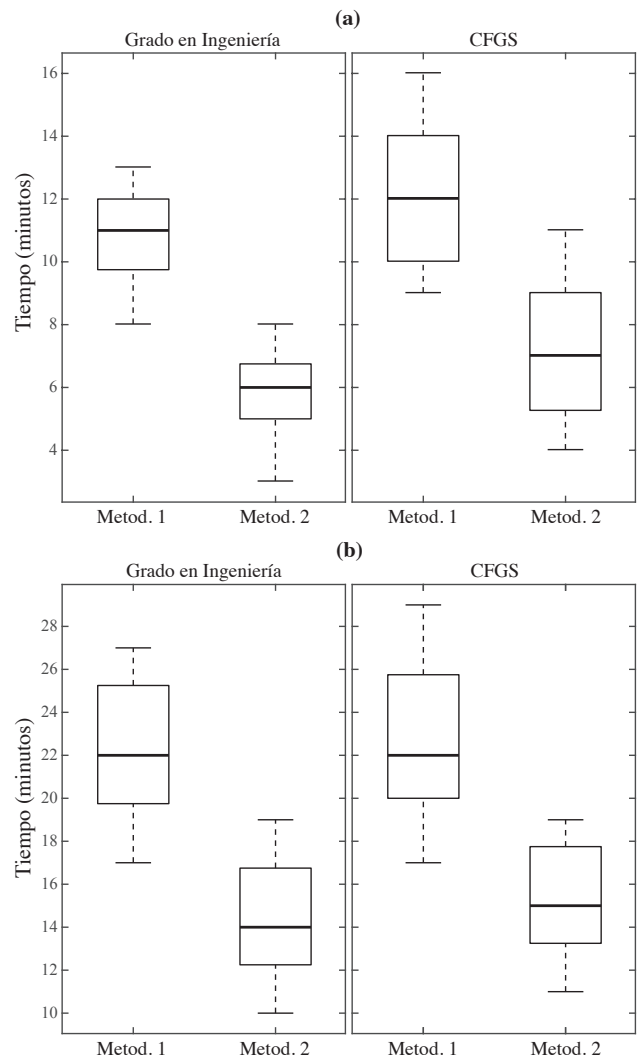


Figura 5. Diagramas de cajas y bigotes del tiempo empleado por los estudiantes en la (a) prueba práctica de manejo, y en el (c) examen práctico de inspección del respirador. La información se presenta para cada metodología de enseñanza-aprendizaje y cada titulación (grado y CFGS) que se han considerado en el experimento docente.

reducido número de dispositivos disponibles en los entornos docentes, facilitando por tanto la formación y el entrenamiento práctico de los futuros profesionales de la electromedicina.

V. CONCLUSIONES

El uso de simuladores virtuales dentro de las actividades de enseñanza-aprendizaje empleadas para formar a los futuros profesionales de la electromedicina ha permitido mejorar su entrenamiento práctico en el manejo y mantenimiento de los respiradores de cuidados críticos, así como también ha conseguido reducir significativamente el tiempo de uso de los mismos. Teniendo en cuenta que el acceso a estos dispositivos está muy restringido en entornos docentes, los resultados obtenidos son muy prometedores. No obstante, su confirmación definitiva requiere de análisis más extensos en los que participen un mayor número de estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud a los estudiantes que han participado en el estudio.

REFERENCIAS

- [1] J. McGill, "Clinical engineering," in *Career Development in Bioengineering and Biotechnology*. Springer, 2008, pp. 136–142.
- [2] R. Kramme and H. Kramme, "Technology in medicine: Its role and significance in terms of health policy," in *Springer Handbook of Medical Technology*. Springer, 2011, pp. 3–6.
- [3] L. Pecchia, N. Pallikarakis, R. Magjarevic, and E. Iadanza, "Health technology assessment and biomedical engineering: Global trends, gaps and opportunities," *Medical engineering & physics*, vol. 72, pp. 19–26, 2019.
- [4] P. Derrico, M. Ritrovato, F. Nocchi, F. Faggiano, C. Capussotto, T. Franchin, and L. De Vivo, "Clinical engineering," in *Applied Biomedical Engineering*. IntechOpen, 2011.
- [5] [Online]. Available: <http://seib.org.es/formacion/educacion/>
- [6] C. Sánchez and R. Alcaraz, "Certificados, acreditaciones y titulaciones en electromedicina sanitaria e ingeniería clínica," in *Investigación y transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2015, p. 25.
- [7] [Online]. Available: <https://www.uc3m.es/master/ingenieria-clinica>
- [8] *Real Decreto 838/2015, de 21 de septiembre, por el que se establece el título de Técnico Superior en Electromedicina Clínica y se fijan los aspectos básicos del currículo*, BOE, Martes 6 de octubre de 2015.
- [9] [Online]. Available: <http://todofp.es/que-como-y-donde-estudiar/que-estudiar/familia/oe/electricidad-electronica.html>
- [10] J. Keller, "Instructions included? make safety training part of medical device procurement process," *Materials management in health care*, vol. 19, no. 4, pp. 26–29, 2010.
- [11] D. A. Cook, R. Hatala, R. Brydges, B. Zendejas, J. H. Szostek, A. T. Wang, P. J. Erwin, and S. J. Hamstra, "Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis," *Jama*, vol. 306, no. 9, pp. 978–988, 2011.
- [12] V. J. Major, Y. S. Chiew, G. M. Shaw, and J. G. Chase, "Biomedical engineer's guide to the clinical aspects of intensive care mechanical ventilation," *Biomedical engineering online*, vol. 17, no. 1, p. 169, 2018.
- [13] *2019 Top 10 Health Technology Hazards. Executive Brief. A Report from Health Devices*, ECRI Institute, 2019.
- [14] H. Memić, A. Badnjević, and Z. Džemić, "Regulations and directives - past, present, future," in *Inspection of Medical Devices*. Springer, 2018, pp. 5–29.
- [15] *UNE-EN 62353. Ensayos recurrentes y ensayos después de reparación del equipo electromédico*, AENOR, Abril 2015.
- [16] *UNE-EN 60601-2-12. Requisitos particulares para la seguridad de los ventiladores pulmonares. Ventiladores de cuidados críticos*, AENOR, Febrero 2007.
- [17] *ITC-BT-38. Requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención*, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- [18] [Online]. Available: <https://www.uclm.es/cuenca/epc/gradoteleco>
- [19] [Online]. Available: https://www.draeger.com/es_es/Hospital/Downloads
- [20] T. Peyn, "Long-term ventilators for intensive therapy," in *Springer Handbook of Medical Technology*. Springer, 2011, pp. 525–544.
- [21] D. R. Krathwohl, "A revision of Bloom's taxonomy: An overview," *Theory into Practice*, vol. 41, no. 4, pp. 212–218, 2002.
- [22] R. E. Mayer, "Guiding cognitive processing during learning with animations: Commentary on parts iii and iv," in *Learning from Dynamic Visualization*. Springer, 2017, pp. 379–386.
- [23] H. Higham and B. Baxendale, "To err is human: use of simulation to enhance training and patient safety in anaesthesia," *BJA: British Journal of Anaesthesia*, vol. 119, no. suppl_1, pp. i106–i114, 2017.
- [24] J. Hustad, B. Johannesen, M. Fossum, and O. J. Hovland, "Nursing students' transfer of learning outcomes from simulation-based training to clinical practice: a focus-group study," *BMC Nurs*, vol. 18, p. 53, 2019.

Evolución en la Provisión de Servicios de Laboratorio Remoto a través de Protocolos de Federación

Felix García-Loro

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
fgarcialoro@ieec.uned.es

Blanca Quintana

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
bquintana@ieec.uned.es

Martín Fernández

Facultad Regional San Nicolás (FRSN)
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
 San Nicolas, Argentina
rmfernandez@frsn.utn.edu.ar

Alejandro Macho

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
amacho@ieec.uned.es

Pablo Baizán

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
pbaizan@ieec.uned.es

Pedro Plaza

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
pplaza@ieec.uned.es

Clara Pérez-Molina

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
clarapm@ieec.uned.es

Elio San Cristobal

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
elio@ieec.uned.es

Gabriel Díaz Orueta

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
gdiaz@ieec.uned.es

Manuel Castro

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
 Madrid, España
mcastro@ieec.uned.es

Abstract— El Proyecto PILAR (Plataforma de Integración de Laboratorios basados en la Arquitectura de visiR) ha tenido como principal objetivo la federación de 5 nodos del laboratorio remoto VISIR (Virtual Instruments System in Reality), compartiendo recursos tanto técnicos como educativos. De esta forma, el proyecto ha alcanzado la creación de una red de laboratorios VISIR con un amplio repositorio de experiencias prácticas compartidas por las distintas instituciones participantes y abiertas a otras instituciones externas al proyecto. Además, este proyecto va más allá de los objetivos establecidos en el proyecto y ha establecido formalmente una alianza formada por las distintas instituciones que formaran los distintos nodos del proyecto y establecer las políticas relativas para la incorporación de nuevos nodos a la federación y las relativas a la explotación de la federación por parte de los usuarios finales (usuarios e instituciones).

Keywords— federación, laboratorio remoto, VISIR, electrónica, experimentación

I. INTRODUCTION

Distintos autores [1]-[6] aluden a los laboratorios presenciales, laboratorios remotos (LRs), laboratorios virtuales y los simuladores como las posibilidades que ofrecen las instituciones educativas con el fin de

complementar los contenidos teóricos y el desarrollo de cursos en los que la experimentación juega un papel importante:

Cada formato de laboratorio (presencial, remoto, virtual o simulado) tiene unas ventajas sobre los otros tanto para usuarios, instituciones, docentes y objetivos de aprendizaje. En este sentido, en [8], [2] o [9] los autores afirman que no es posible una comparación directa entre las distintas alternativas debido a la falta de un criterio uniforme para evaluar la efectividad de cada laboratorio. Naef [2] y Lindsay y Good [7] concluyen que no se puede concluir objetivamente que ningún tipo de laboratorio es superior a otro, ya que cada uno de ellos proporciona diferentes beneficios de aprendizaje. Por lo tanto, la mejor solución es una combinación de los métodos o el uso de aquellos que mejor se adecue al individuo y metas establecidas. Más recientemente, en el análisis realizado en [16] los resultados sugieren que en la mayoría de los estudios revisados (89%) demuestran que el logro de los resultados del aprendizaje de los estudiantes es igual o superior en los laboratorios no tradicionales en todas las categorías de resultados del aprendizaje (conocimiento y comprensión, habilidades de investigación, habilidades prácticas, percepción, habilidades analíticas y comunicación social y científica)

Los laboratorios remotos son laboratorios reales accesibles y controlables remotamente mediante una red — por lo general, internet—. Diferentes diseños de laboratorios web se han creado para aportar experiencias prácticas educativas en todo el mundo. Algunos ejemplos se describen en [10]-[15]. En [9] los autores subrayan que los laboratorios remotos y presenciales son muy similares. En esta línea, en [17] se señala que, tanto los laboratorios presenciales como los laboratorios remotos, son parte del mundo real y esa es la diferencia entre ellos y los laboratorios simulados y/o virtuales.

En [9] se apunta que lo que hace especiales a los laboratorios remotos es la distancia entre el experimento y el usuario. La diferencia fundamental impuesta por la operación a distancia es la separación física de los estudiantes y equipo experimental real, por lo tanto, los laboratorios remotos tienen una capacidad muy limitada para proporcionar habilidades manuales. Por otro lado, algunos autores, sostienen que la presencia física es sólo un elemento de la percepción de la realidad, una realidad subjetiva del estudiante [18][19]. Asimismo, apuntan, que la solución a este inconveniente se alcanza por medio de una interfaz que dote de una mayor inmersión de los estudiantes en el laboratorio.

Evidentemente, los laboratorios remotos trasladan inconvenientes de los laboratorios presenciales, especialmente en lo referente al apartado experimental. Factores como averías en los equipos e instrumentos, monitores/tutores de prácticas con baja experiencia, inconvenientes derivados del desconocimiento en el funcionamiento de los equipos e instrumentos, componentes defectuosos, etc [20]. Pero además, factores derivados de las limitaciones constructivas del laboratorio remoto, limitaciones de operación, etc., son inconvenientes propios de los laboratorios remotos[21]-[23].

Este artículo se centra en los resultados y trabajo llevado a cabo en los últimos 3 años dentro del proyecto Erasmus+ PILAR “Plataforma de Integración de Laboratorios basados en la Arquitectura de visiR (2016-1-ES01-KA203-025327)”. El proyecto PILAR se encuentra enmarcado dentro de una estrategia centrada en las TICs y en la mejora de cada sistema VISIR integrante en el proyecto a través de la federación y de los recursos abiertos. Asimismo, se esbozan las sinergias existentes con otro proyecto que se encuentra en fase de desarrollo: el Proyecto Erasmus+ e-LIVES “e-Learning Innovative Engineering Solutions project (585938-EPP-1-2017-1-FR-EPPKA2-CBHE-JP)”.

II. PROYECTO PILAR

El proyecto PILAR se ha basado en la integración de los 5 principales sistemas VISIR existentes en Europa en 2016 “Blekinge Tekniska Högskola (BTH), Suecia, institución de educación superior (tercer ciclo); Universidad de Deusto (UD), España, institución de educación superior (tercer ciclo); Instituto Politécnico do Porto (IPP), Portugal, institución de educación superior (tercer ciclo); Fachhochschule Kärnten - Gemeinnützige Privatstiftung (CUAS), Austria, institución de educación superior (tercer ciclo); Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España, institución de educación superior (tercer ciclo)” dentro de un nuevo sistema coordinado y federado, conocido como Federación VISIR, que permiten un acceso abierto al hardware, software, cursos, actividades educativas

y repositorio de actividades y documentos, así como a la organización y gestión de la Federación VISIR.

Junto con los nodos de la federación VISIR, el proyecto cuenta con Espoon Seudun Koulutuskuntayhtymä OMNIA organismo público regional la región de Espoon, Finlandia, dedicada al desarrollo entornos de aprendizaje innovadores y proveedor multisectorial en los sectores de educación y formación profesional; EVM Project Management Experts SL, PYME, consultora especializada en la planificación de escenarios, aprendizaje de servicios, innovación de financiación y visualización de datos; Internationale Gesellschaft Fur Online Engineering Verein, IAOE, organización internacional sin ánimo de lucro cuyo objetivo es fomentar el desarrollo, distribución y aplicación más amplios de las tecnologías de Ingeniería online y su influencia en la sociedad.

Además, en el proyecto han colaborado: LabsLand Experimentia SL., PYME, spin off desarrollada desde la Universidad de Deusto y su Instituto de Investigación DeustoTech para desarrollar y establecer la intermediación de Actividades Educativas y Laboratorios Remotos/Virtuales como Servicios en todo el mundo; El Capítulo Español de la Sociedad de Educación del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) junto con la Sociedad de Educación del IEEE brindan la oportunidad a los Socios del Proyecto PILAR de colaborar en el área de disciplinas CTIM en varios centros y actividades para involucrar a los jóvenes en Tecnología e Ingeniería; La Sociedad de Educación del IEEE desarrolló con la participación de los investigadores del Proyecto PILAR un nuevo Estándar Internacional, IEEE 1876-2019 - IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories, en marzo de 2019.

III. LABORATORIO REMOTO VISIR

VISIR es un laboratorio abierto y remoto dedicado a la experimentación con circuitos eléctricos y electrónicos. Permite a los profesores y estudiantes interaccionar con el mundo real, de forma remota y en tiempo real, con equipos de laboratorio e instrumentos de medición que se basan en una interfaz de usuario que replica los equipos y componentes prácticos. VISIR tiene su origen en BTH, Suecia [24][25]. Su uso está muy expandido y documentado a distintos niveles [11][20][26][27].

En el LR VISIR, los usuarios pueden cablear el circuito deseado con los componentes disponibles y utilizar varios instrumentos para analizar su comportamiento. En la figura 1 se muestra uno de los sistemas VISIR instalado en IPP; la figura 4 y 5 muestran dos partes de la interfaz VISIR, a saber, la protoboard virtual empleada para el diseño de experimentos, y el panel de interfaz de un instrumento (osciloscopio).

IV. PLAN DE TRABAJO DEL PROYECTO

La metodología y el plan de trabajo diseñados originalmente para el proyecto PILAR se basaban en una estructura de paquetes de trabajo (WPs), tareas e intellectual outputs (IOs) con el fin de establecer claramente qué actividades debían realizarse en cada momento y vincularlos con los productos obtenidos. Los cambios en la organización del proyecto PILAR fueron impulsados en la reunión celebrada con la Agencia Española - Erasmus+ en mayo de 2018. Se descartó la organización del proyecto en WPs y el



Fig. 1. Uno de los sistemas VISIR disponible en el nodo de IPP.

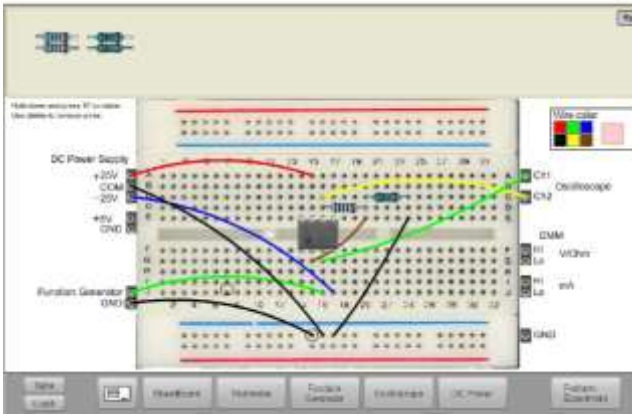


Fig. 2. Interfaz en VISIR: Protoboard.

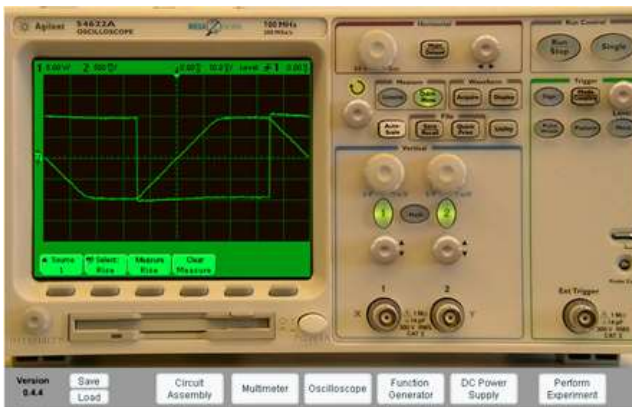


Fig. 3. Interfaz en VISIR: Osciloscopio.

desarrollo del proyecto se dividió en dos fases principales altamente diferenciadas:

- Fase de desarrollo piloto (01/09/2016 - 30/04/2018)
- Fase de explotación y productos (01/05/2018 - 31/10/2019)

A. PILAR: Fase Piloto

Durante esta fase, la primera versión de la arquitectura de la FV fue diseñada, definida y establecida por todos los socios. Esta tarea recayó especialmente en aquellos socios proveedores de VISIR y, por lo tanto, de Recursos Educativos Abiertos en el proyecto. El resultado terminó con el lanzamiento y explotación de un FV en una fase piloto. Las cinco instancias de sistemas VISIR disponibles en el

proyecto han sido el punto de partida de la FV. Al inicio del proyecto, cada socio proveedor de VISIR tenía implementado una configuración diferente para la gestión de los recursos, servicios y acceso al LR:

- UNED: el sistema VISIR se gestiona a través de un Sistema de Gestión de Laboratorios Remotos (SGLR) llamado WebLab-Deusto. Sin embargo, además, la UNED utiliza un sistema de reservas propietario que garantiza que, en algunos casos, sólo una persona a la vez puede acceder al sistema VISIR y el resto del tiempo, hasta 60 estudiantes concurrentes acceden al sistema. Este componente de reservas soporta el protocolo IMS LTI (Instructional Management Systems Learning Tools Interoperability).
- ISEP: el sistema VISIR era administrado a través del software OpenLabs que solía venir con VISIR. Sin embargo, en marzo de 2018, ISEP junto con la UNED implementó un nuevo sistema VISIR en sus instalaciones que emplea WebLab-Deusto para la gestión del LR y usuarios.
- UDEUSTO: el sistema VISIR de la Universidad de Deusto empleaba WebLab-Deusto para la gestión del LR VISIR.
- BTH: BTH empleaba el software OpenLabs (que venía con VISIR) para gestionar su sistema VISIR.
- CUAS: el sistema VISIR en CUAS se apoyaba en un software personalizado llamado edispatcher.

El diseño de la solución técnica para el depósito de lecciones de PILAR en la fase piloto se muestra en la figura 4. Las lecciones pueden ser alojadas en un sistema Moodle. Cada lección puede utilizar un sistema VISIR determinado, pero la solución técnica para acceder a ella es siempre la misma (IMS LTI) y los estudiantes pueden utilizar cualquier VISIR del consorcio de forma transparente. Los estudiantes no necesitan registrarse en cada plataforma. PILAR coloca las lecciones en Moodle ya vinculadas a un VISIR en particular, pero los estudiantes no necesitan saber qué VISIR deben utilizar. Los profesores pueden registrarse en Moodle utilizando las herramientas de Moodle para el registro sin tener su propia infraestructura. Y los profesores y los estudiantes pueden registrarse para que los estudiantes puedan ser enviados a diferentes lecciones para utilizar el

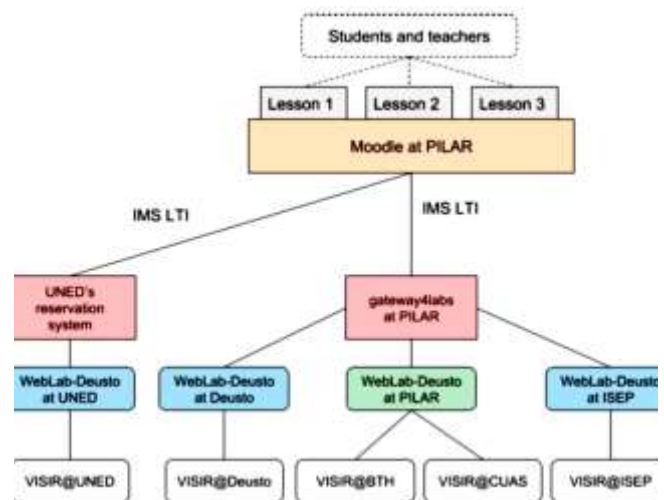


Fig. 4. Primera aproximación de federación.

equipo sin que los profesores posean una infraestructura diferente [21].

B. PILAR: Fase de Explotación

Esta fase ha abarcado todos los servicios, definiciones formales de los procedimientos y las metodologías de aprendizaje y formación que proporciona la FV resultante. Una vez completada la fase piloto de la federación, los socios definieron el marco final para la FV. En esta fase se ha aplicado un ciclo típico de Deming "Plan Do Check Act" desde la fase "antes de la prueba piloto" hasta la versión final, pasando por diferentes ciclos de mejora a lo largo de toda la vida del proyecto.

La FV permite la posibilidad de integrar todas las diferentes experiencias puestas a disposición por cada socio como una herramienta educativa complementaria para fomentar la adquisición de habilidades de laboratorio en los cursos que implican experimentos con circuitos eléctricos y electrónicos.

Al referirse a la FV como una federación de réplicas del mismo LR (VISIR) no es del todo correcto ya que cada entidad puede tener, y de hecho tiene, diferentes componentes instalados y, por tanto, diferentes experimentos disponibles. Por lo tanto, la base de la federación es la arquitectura común entre todos los proveedores de VISIR.

WebLab-Deusto es el Sistema de Gestión de Laboratorios Remotos (SGLR) empleado en la federación para la gestión de los servicios y administración del LR. WebLab-Deusto ya era utilizado por algunos de los sistemas VISIR del consorcio, como la Universidad de Deusto, la UNED o desde marzo de 2018 también el IPP. Este sistema soporta el acceso concurrente de un número limitado de usuarios predefinidos en VISIR, pero también soporta su integración en diferentes herramientas de integración de aprendizaje como gateway4labs. Adicionalmente, WebLab-Deusto soporta de forma nativa VISIR a través de sus diferentes versiones.

Una característica clave de WebLab-Deusto es que soporta su propio protocolo de federación que soporta la federación transitiva. Por federación en este contexto, nos referimos al hecho de que una instancia de WebLab-Deusto puede acceder a los laboratorios de otra instancia de WebLab-Deusto, por lo que los estudiantes de la primera pueden acceder a ciertos laboratorios de la segunda sin que cada estudiante esté inscrito en la segunda. Por federación transitiva, nos referimos a la propiedad de federación que permite que si una Universidad A comparte un laboratorio con la Universidad B, entonces la Universidad B puede volver a compartir el laboratorio con otra institución que se encuentre federado a esta. En definitiva, podemos hablar de una federación de experimentos, que permite dos formas de federar recursos basados en la práctica a través de la arquitectura VISIR:

- Federación transitiva: compartiendo experimentos, como si fueran diferentes laboratorios pero usando la misma arquitectura y provistos por la misma interfaz.
- Federación redundante de balanceo de carga distribuida: balanceando la carga de los usuarios entre las diferentes instancias replicadas de los experimentos de forma automática.

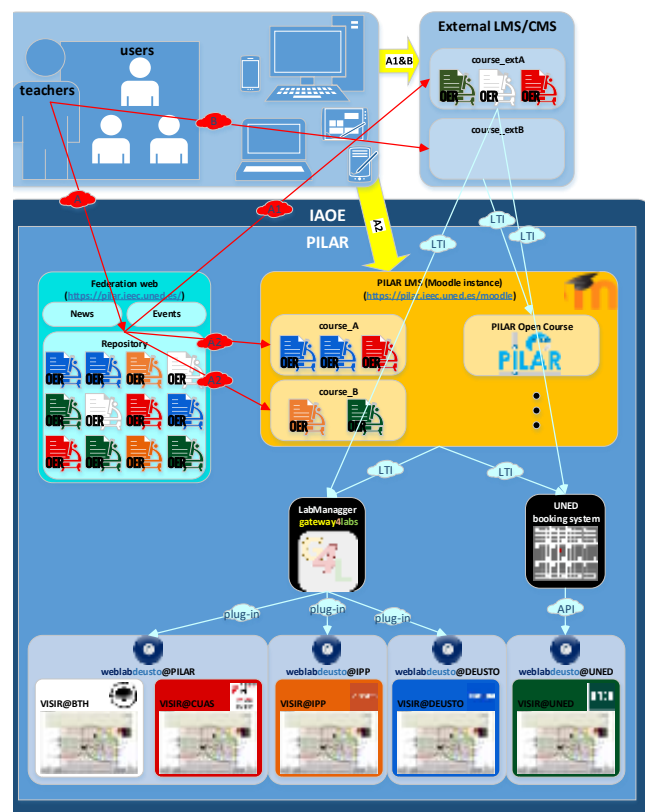


Fig. 5. Primera aproximación de federación.

Los Recursos Educativos Abiertos (REA), representados en la figura 5, no sólo están compuestos por accesos a los experimentos basados en VISIR, sino que están formados por guiones de práctica, capturas, vídeos, documentos adicionales (hojas de datos, documentos teóricos, etc.), e información para integrarlo en las diferentes plataformas educativas. Estos REAs están disponibles para cualquier docente de la federación y pueden ser empleados en la forma en que el docente opte. Podemos distinguir 3 tipos de docentes o profesores:

- Profesor consumidor: Este perfil está destinado a profesores que no pertenecen a una institución proveedora de VISIR y que no tienen el conocimiento técnico del funcionamiento interno de VISIR.
- Profesor desarrollador: Este perfil está destinado a docentes que, perteneciendo o no a una institución proveedora de VISIR, tienen el conocimiento técnico del funcionamiento interno de VISIR.
- Profesor gestor: Este perfil está destinado a docentes de instituciones proveedoras de VISIR que están a cargo del sistema VISIR.

Las flechas rojas representan cómo los profesores pueden interactuar y explotar los REAs dentro de PILAR; las flechas azul claro representan las comunicaciones entre entidades (comunicaciones entre entidades de weblabdeusto no representadas); las flechas amarillas anchas representan las formas de interacción de los estudiantes con PILAR.

Las instituciones y, por extensión, los docentes que forman parte de la federación pueden hacer uso de los REA basados en VISIR, provistos a través de credenciales PILAR LTI (clave y secreto), independientemente de su perfil. La

forma en que estos proporcionan los REAs a los usuarios finales (estudiantes) varía dependiendo de la existencia de una plataforma educativa empleada:

- Profesores que gestionan una plataforma externa:
 - Flechas rojas A-A1: los profesores pueden crear sus propios cursos basados en VISIR recogiendo los REAs deseados que se proporcionan en el repositorio.
 - Flecha roja B: los profesores pueden crear un enlace al curso abierto del PILAR; o, existiendo un acuerdo previo con el propietario, a cualquier curso alojado en el SGA de PILAR.
- Profesores que no controlan una plataforma externa, flechas rojas A-A2: los profesores pueden solicitar un espacio (curso) en el SGA de PILAR. En él, los profesores pueden crear su propio curso basado en VISIR recogiendo los REAs deseados que se encuentran en el repositorio.

Los objetivos conseguidos en la etapa final han sido[29]:

- Una Federación de sistemas VISIR segura y con alta disponibilidad, tanto en cuanto al tamaño de repositorio como a su provisión, que integra todos los diferentes recursos basados en el laboratorio remoto (LR) VISIR, utilizados en cada uno de los proveedores VISIR.
- EL establecimiento formal de la Federación VISIR, bajo el paraguas de la IAOE, que permite la evolución futura del sistema VISIR, de la Federación VISIR y la integración mundial de otros sistemas VISIR interesados, así como la de usuarios, investigadores, hardware, software y desarrolladores educativos en torno a la plataforma PILAR.
- La Federación VISIR está completamente abierta a otros socios en Europa, mediante los protocolos establecidos, lo que permite ampliar las capacidades de PILAR a muchas más instituciones educativas potencialmente interesadas.
- Un incremento en la variedad del repositorio de prácticas disponible basado en los desarrollos empleados por los sistemas VISIR en el pasado.
- Estos servicios se ofrecen a los estudiantes de todas las instituciones asociadas y a cualquier persona interesada en todo el mundo. Los resultados añaden valor a nivel de la Unión Europea (UE) porque las actividades disponibles se pueden realizar desde cualquier país.
- Estos servicios basados en el LR VISIR se proporcionan de forma transparente tanto para profesores y estudiantes.
- Un uso mucho más eficiente y eficaz de los recursos prácticos basados en el LR VISIR.
- La Federación VISIR proporciona a profesores la infraestructura necesaria para la explotación de Recursos Educativos Abiertos basados en el LR VISIR.

- Se ha implementado una web dentro de la federación que sirve como repositorio y como medio de difusión de la federación.
- La plataforma de la Federación permite un mejor control del proceso de aprendizaje de los estudiantes cuando éstos emplean los servicios proporcionados a través de los canales educativos de la federación VISIR.

V. EVALUACIÓN DE LA FEDERACIÓN VISIR

Los instrumentos empleados se basan en cuestionarios diseñados. El proceso de evaluación está integrado en el sistema de calidad. Los cuestionarios se ejecutaron en las dos etapas del proyecto para llevar a cabo un seguimiento efectivo. Además de los cuestionarios, las reuniones técnicas/educativas del proyecto y los diferentes eventos (talleres y eventos educativos) han sido utilizados como un lugar para el intercambio de ideas y mejoras.

Una vez procesada toda la información proporcionada por los cuestionarios, se llevó a cabo un análisis de los resultados con el fin de identificar aquellos parámetros críticos para la FV de la Federación VISIR. Estos parámetros han ayudado al consorcio en el diseño de la FV final.

Los cuestionarios se centraban en 4 aspectos evaluativos del proyecto sobre la eficiencia, usabilidad, utilidad e impacto de VISIR a través de la FV establecida en el proyecto PILAR durante su fase piloto.

Se llevó a cabo cuestionarios sobre dos grupos: estudiantes y profesores/técnicos. Si bien los usuarios finales son los estudiantes, el conjunto formado por profesores y técnicos suponen un grupo de control para los cuestionarios pre-post. Las encuestas eran voluntarias para ambos grupos. Si bien el número de docentes que han interactuado en la plataforma ha sido mucho más elevado que el número de respuestas recolectadas, 20 en la fase piloto y 24 en la fase de explotación, el elevado número de cuestiones (48) ha causado el abandono de la encuesta.

A. Cuestionario de Evaluación de la Fase Piloto

En la etapa piloto del proyecto, la finalidad principal de los cuestionarios era la identificación de factores clave a desarrollar en la siguiente fase del proyecto.

Los resultados en la fase piloto fueron, en términos generales, muy positivos. Además permitieron obtener conclusiones aclaratorias sobre el estado real del proyecto/FV en la fase piloto y las necesidades técnico-pedagógicas necesarias para una consecución satisfactoria del proyecto. La evaluación realizada por los profesores, especialistas y socios asigna, en promedio, el mismo nivel de eficacia, utilidad e impacto, 3,51, 3,53 y 3,52 respectivamente en una escala de 1 a 4. En términos generales, la utilidad fue la variable peor calificada 3,4 en una escala de 1 a 4. Sin embargo, las calificaciones otorgadas en las 4 categorías son relativamente similares y positivas. Los resultados más importantes se describen a continuación, aunque todos los temas han sido evaluados y considerados internamente como una estrategia de mejora.

En cuanto a la evaluación de la eficiencia, los tópicos peor evaluados han sido Q3-EFF03 "El grado y nivel de los estudiantes que utilizan el VISIR están completamente descritos en un documento", 3.19 en una escala de 1 a 4, y Q5-EFF05 "Los estudiantes cuentan con propuestas de

mejora de los experimentos”, 3.19 en una escala de 1 a 4. Estos dos tópicos también muestran las mayores dispersiones, 0.73 y 0.66 respectivamente. En este sentido, se ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con una información adecuada y actualizada de los diferentes objetivos y niveles educativos de los REA basados en VISIR. La acción correctiva implementada es la mejora de la información incluida en el repositorio de FV. Asimismo, se han requerido acciones correctivas para implicar más a los estudiantes en el proceso de aprendizaje respecto a la fase piloto.

Otros dos temas que destacaron para los integrantes del proyecto como cuestiones a mejorar fueron Q4-EFF04 “Los estudiantes cuentan con un conjunto completo de actividades de formación eléctrica y electrónica con VISIR a través de la Federación PILAR” y Q8-EFF08 “Las actividades de formación realizadas en PILAR están bien organizadas, estructuradas y planificadas”. Ambas estaban estrechamente relacionadas con el tamaño del repositorio. Sin embargo, este hecho se asumió como lógico durante la fase piloto ya que el número de experimentos integrados está limitado por los socios proveedores del VISIR.

La afirmación Q15-EFF15 “Estoy satisfecho con el uso de PILAR” también presentó una alta dispersión (0.66). Sin embargo, observando la clara concentración de respuestas en torno a “De acuerdo” y especialmente “Muy de acuerdo” que explica que su media alta sea de 3,48 en una escala de 1 a 4, esta dispersión se debió especialmente a la aparición de evaluaciones “En desacuerdo”. Además, al tratarse de una cuestión más general, se concluyó que las mejoras del resto de temas fomentarían una menor dispersión.

Entre los puntos fuertes, los profesores, especialistas y socios educativos, destacaron el potencial para los estudiantes (consumidores finales y objetivo final), tanto tecnológico como educativo, de la FV establecida en el la fase piloto del proyecto PILAR.

En cuanto al apartado de usabilidad, del que ya se ha comentado que fue el peor valorado en términos generales con una puntuación media de 3,4 en una escala de 1 a 4, todos los tópicos requirieron acciones correctivas. Cabe destacar la afirmación Q18-USA03 “El sistema VISIR permite detectar y resolver errores de funcionamiento” con una media asignada de 3,05 en una escala de 1 a 4 y baja dispersión. Por lo tanto, existe un alto consenso entre los profesores, especialistas y socios sobre la debilidad presente en el sistema VISIR en el aspecto evaluado. El proyecto PILAR no contaba entre sus objetivos la mejora del software VISIR, sin embargo la federación sí eliminó en un alto número de casos las limitaciones derivadas del software de un sistema VISIR explotado en solitario. La acción correctiva propuesta se centró en el diseño interno de los experimentos, con el fin de optimizar la flexibilidad de interconexión entre componentes en detrimento de los componentes disponibles dentro de la citada matriz de conmutación de relés, ya que esta variedad en el repositorio se obtiene del resto de socios proveedores de VISIR.

Analizando la utilidad, los tópicos peor valorados fueron Q24-USE01 <PILAR me ayuda en el aprendizaje y en la realización de las actividades formativas en los laboratorios como si fueran reales y de forma activa” y Q25-USE02 <VISIR y la Federación PILAR son útiles para las necesidades y el desarrollo profesional de los alumnos”, y en

menor medida <El uso del PILAR permite superar los problemas que pueden surgir del uso de un solo, laboratorio independiente” y Q33-USE10 <PILAR garantiza el contar con actividades formativas controladas y adecuadas, a cualquier hora y en cualquier lugar, que ayuden a incrementar el número de alumnos que las realizan en la carrera de ingeniería, que no hayan podido acceder a estas actividades formativas con anterioridad”. Se requirió una estrategia global para las acciones correctivas que cubra tanto los aspectos técnicos: un repositorio extenso, experimentos específicos, etc. como los aspectos pedagógicos: manuales, guiones de prácticas, materiales complementarios, etc. Algunas de las acciones correctivas aplicadas fueron previamente programadas para la fase de desarrollo; como por ejemplo el diseño de los experimentos basados en la FV.

El impacto del proyecto ha sido valorado muy positivamente en líneas generales. El análisis del impacto del proyecto sugirió acciones correctivas, para el tópico Q39-IMP04 “PILAR proporciona recursos educativos diseñados para hacer frente a los retos de la educación superior”. Sin embargo, el consorcio concluyó que la aplicación de las medidas diseñadas para la fase de desarrollo del FV debería ser suficiente, por lo que no se consideró medidas correctivas adicionales.

B. Cuestionario de Evaluación de la Fase de Explotación

Los resultados obtenidos de la evaluación de la FV en la fase de explotación han sido muy positivos. No hay ningún tópico que haya sido peor evaluado que la evaluación obtenida en la fase piloto. Los resultados permiten concluir un desarrollo satisfactorio del proyecto y un buen diseño y aplicación de las acciones correctivas resultantes de la fase piloto.

La evaluación realizada por los profesores, especialistas y socios asignó, de media, el mismo nivel para la eficiencia (figura 6), utilidad (figura 8) e impacto (figura 9), 3,880, 3,868 y 3,882 respectivamente en una escala de 1 a 4. La usabilidad (figura 7) ha sido evaluada con 3,823 en una escala de 1 a 4.

El tópico “PILAR facilita y mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje de los usuarios “ ha obtenido un consenso absoluto, todos los participantes “están completamente de acuerdo”.

Además de este, se han evaluado 18 tópicos han obtenido una valoración con medias superiores a 3,9:

- Q08-EFF08 “Las actividades de formación llevadas a cabo en el PILAR están bien organizadas, estructuradas y planificadas”
- Q09-EFF09 “El contenido de las actividades formativas permite a los alumnos conocer, utilizar y estar conectados a VISIR a través de la Federación PILAR”
- Q12-EFF12 “La metodología empleada en el PILAR es motivadora y potencia el interés de los alumnos por los temas vistos”
- Q13-EFF13 “PILAR facilita y mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje de los usuarios”

- Q14-EFF14 “El uso de la Federación PILAR y de VISIR facilita la realización de las actividades de formación en laboratorios remotos”
- Q15-EFF15 “Estoy satisfecho con el uso de PILAR”
- Q16-USA01 “El acceso a los laboratorios remotos de VISIR es fácil con PILAR”
- Q17-USA02 “Las especificaciones técnicas de VISIR (hardware y software) están bien definidas”
- Q20-USA05 “Los usuarios cuentan con documentos específicos sobre el proceso de aprendizaje y los resultados obtenidos al utilizar VISIR”
- Q27-USE04 “El uso del PILAR permite superar los problemas que pueden surgir al utilizar un único laboratorio independiente”
- Q29-USE06 “La plataforma PILAR es útil para las universidades”
- Q32-USE09 “Las actividades de formación realizadas con PILAR forman parte de programas de formación continua diseñados para la industria, los centros de enseñanza secundaria y la educación superior”
- Q34-USE11 “PILAR garantiza el contar con actividades formativas controladas y adecuadas, a cualquier hora y en cualquier lugar, que ayuden a incrementar el número de alumnos que las realizan en la titulación de ingeniero, que no hayan podido acceder previamente a estas actividades formativas”
- Q37-IMP02 “El uso de VISIR a través de la Federación PILAR ha favorecido el desarrollo de las competencias de profesores y alumnos”
- Q40-IMP05 “PILAR proporciona recursos educativos diseñados para afrontar tareas complejas y basadas en la resolución de problemas”
- Q41-IMP06 “Los estudiantes y profesores de las escuelas secundarias que participan en el estudio piloto contarán con un acceso en línea real y confiable a VISIR”
- Q44-IMP09 “La Federación PILAR mejora la calidad de la educación, de los programas de formación y del trabajo futuro de los jóvenes en Europa”
- Q45-IMP10 “La Federación PILAR permite contar con más herramientas de aprendizaje y disponer de diferentes laboratorios remotos”
- Q46-IMP11 “La Federación PILAR permite una nueva y creciente cooperación interregional de las autoridades educativas”

El tópico peor valorado fue Q18-USA03 “El sistema VISIR permite detectar y solucionar errores de funcionamiento” 3,54 en promedio, y también presentó la mayor dispersión, desviación estándar 0,576 de todo el cuestionario. Sin embargo, fueron notables las mejoras respecto a los resultados obtenidos en la fase piloto: de 3,05 en la fase de prueba a 3,54 en la fase de explotación. El resto de tópicos se situaron por encima de 3.7 de media. Este resultado muestra las mejoras obtenidas a través de las acciones correctivas implementadas.

La evaluación y el feedback aportado por los profesores se consideró clave por el consorcio PILAR ya que han evaluado ambas fases del proyecto y de la FV (fase piloto y



Fig. 6. Evaluación por parte de profesores y técnicos de la eficiencia de la federación.

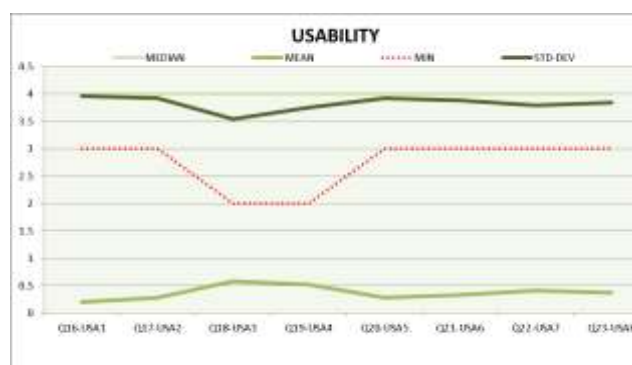


Fig. 7. . Evaluación por parte de profesores y técnicos de la usabilidad de la federación.

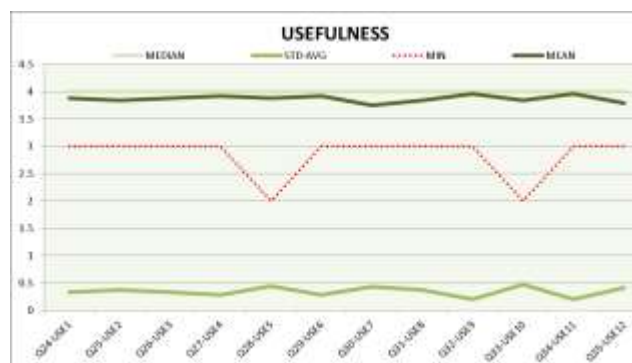


Fig. 8. Evaluación por parte de profesores y técnicos de la utilidad de la federación.



Fig. 9. Evaluación por parte de profesores y técnicos del impacto de la federación.

fase de explotación), por lo que su punto de vista mostró una evaluación de la evolución del proyecto desde las necesidades hasta los resultados.

VI. SOSTENIBILIDAD DE LA FEDERACIÓN

Las actuales 5 Universidades implicadas en el proyecto (UNED, Universidad de Deusto, Instituto Politécnico de Oporto, BTH y CUAS) tienen una orientación mixta presencial y online, pública y privada, con más de 25 años de actividad en todas ellas, con una media cercana a los 50 años de actividad y en algunos casos llegando a más de 100 años de actividad, que aportar estabilidad al futuro de la Federación VISIR y a las actividades en este ámbito. Hay un interés y predisposición de los miembros técnicos del consorcio en seguir trabajando en nuevas investigaciones y actividades relacionadas con VISIR y la FV desarrollada como resultado de PILAR. Aumentando el alcance a nuevas áreas geográficas así como a nuevas áreas de investigación que complementen el actual status.

Todos los resultados y productos del proyecto, servidores web, servidores de cursos y sistemas VISIR están abiertos y seguirán estándolo en el futuro, ya que las instituciones asociadas tienen el acuerdo para hacerlo. La IAoE mantendrá la Federación VISIR bajo su paraguas como Asociación Internacional y el futuro de la FV entrará dentro de sus actividades.

Los estudiantes de todas las capas educativas: escuela secundaria, educación superior y formación profesional continuarán teniendo acceso a los sistemas abiertos y podrán obtener conocimientos de los resultados de desarrollo, así como de los resultados del proyecto.

VII. CONCLUSIONES

La federación final permite no solo un alcance mayor a cada nodo, sino que además el potencial y alcance de la federación es mayor que la suma individual de los 5 nodos. De esta forma, determinados nodos pueden utilizar los servicios de laboratorio disponibles en otro socio y, de esta forma, dedicar sus propios servicios de laboratorio a fin de fortalecer la redundancia del servicio (soportar mayor número de usuarios para determinados experimentos y aumentar la disponibilidad de servicio mediante la redundancia) o para proveer de experiencias y diseños alternativos abriendo el laboratorio a asignaturas más avanzadas, como por ejemplo las experiencias mostradas en [14].

El proyecto ha cerrado una investigación de los socios técnicos del proyecto PILAR e incrementó el nivel de colaboración y sinergia entre ellos, integrando en el grupo de trabajo nuevas visiones y capacidades en nuevas áreas como por ejemplo la formación profesional o la gestión.

PILAR se centra en tener una concepción diferente de los resultados pero sin olvidar nuevas metodologías, nuevas actividades educativas y nuevos documentos abiertos para evolucionar en las actividades de colaboración abierta.

Las prioridades del proyecto fueron establecer la FV así como llevar a cabo un acceso abierto a los usuarios, profesionales, investigadores y estudiantes identificaron en nuestros grupos objetivo de las áreas de ingeniería eléctrica/electrónica un sistema VISIR federado de alta disponibilidad a través de la plataforma PILAR, así como los mejores cursos educativos nuevos (y antiguos), documentos

y actividades. Todos ellos se han desplegado y desarrollado, llegando a las audiencias y grupos objetivo. El impacto del proyecto queda reflejado en el número de cartas de interés de nuevos grupos que quieran ser adheridos a la FV.

Desde el punto de vista local, todos los socios han mejorado su impacto, proporcionando a las instituciones locales de su entorno un nuevo nivel de disponibilidad y recursos de los laboratorios remotos, ofreciéndoles en lugar de su única solución individual VISIR un nuevo nivel: La solución de la Federada de PILAR, donde usuarios y estudiantes pueden utilizar desde su sistema local el sistema de la FV en cualquier momento, independientemente de la ubicación geográfica, y principalmente en el caso de fallo o pérdida de disponibilidad en cualquiera de los sistemas locales VISIR.

Desde el punto de vista regional, el consorcio creado entre los socios de España, Portugal, Austria, Suecia y Finlandia ha cubierto convenientemente todas las regiones europeas, proporcionando a los usuarios de los laboratorios remotos de ingeniería eléctrica/electrónica y a la comunidad un sistema de alto rendimiento y disponibilidad.

Finalmente, a nivel internacional, la experiencia y colaboración con asociaciones internacionales de primer nivel como IEEE e IAOE ha lanzado a la FV a un elevado nivel de visibilidad internacional y mundial que atrae a nuevas instituciones futuras a la FV como las nuevas instituciones y empresas.

El proyecto e-LIVES ("e-Learning InnoVative Engineering Solutions") tiene como objetivo ayudar a universidades de los países del sur del mediterráneo asociados a crear por sí mismas cursos de capacitación innovadores en materia de aprendizaje electrónico ("ingeniería electrónica") en una forma sostenible. Uno de los aspectos fundamentales del proyecto es el desarrollo de soluciones fiables prácticas en forma de laboratorio remoto, permitiendo el acceso a una formación completa en ingeniería electrónica. En este sentido, el proyecto PILAR y la FV puede servir tanto de apoyo, proporcionando la infraestructura disponible, como de espejo para la implementación de soluciones ad-hoc y potencialidades de la federación de recursos.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Madrid Regional Government and Structural Funds (FSE and FEDER) through the Project e-Madrid- CM under Grant P2018/TCS-4307, by the Industrial Engineering School of UNED as well as from the Innovation and Digitalization Vicerectorate of UNED under Project "Laboratorios de STEM y robótica educativa para la mejora de la experiencia del estudiante – STEM-SEC".

And partially supported by e-LIVES Project, e-Learning Innovative Engineering Solutions under Grant 2017-585938-EPP-12017-1-FR-EPPKA2-CBHE-J; I4EU Project, Key Competences for an European Model of Industry 4.0 - nº 2019-1-FR01-KA202-062965; IoE-EQ Project, Internet of Energy-Education and Qualification, under Grant 2017-1-IT01- KA202-006251, and finally by the PILAR Project, Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visiR, under Grant 2016-1-ES01-KA203-025327.

REFERENCES

- [1] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski, "Remote laboratories versus virtual and real laboratories," *33rd Annual Frontiers in Education, 2003. FIE 2003*, Vol. 1 2003, pp. T3E.
- [2] O. Naef, "Real laboratory, virtual laboratory or remote laboratory: what is the most efficient way?" *International Journal of Online Engineering*, Vol. 2 2006.
- [3] J. E. Corter, J. V. Nickerson, S. K. Esche, and C. Chassapis, "Remote versus hands-on labs: a comparative study," *34th Annual Frontiers in Education, 2004. FIE 2004*, 2004, pp. F1G-17.
- [4] Hanson, B. Culmer, P. Gallagher, J. Page, K. Read, E. Weightman, A. Levesley, M., "ReLOAD: Real Laboratories Operated at a Distance," Aug 21, 2009.
- [5] P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, and C. Gerigan, "Simulated, hands-on and remote laboratories for studying the solar cells," *2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION)* Sep 2015, pp. 206-211.
- [6] A. Coble, A. Smallbone, A. Bhave, R. Watson, A. Braumann, and M. Kraft, "Delivering authentic experiences for engineering students and professionals through e-labs," *IEEE EDUCON 2010 Conference* Apr 2010, pp. 1085-1090.
- [7] E.D. Lindsay and M.C. Good, "Effects of laboratory access modes upon learning outcomes," *IEEE Transactions on Education*, Vol. 48, 4, Nov 2005, pp. 619-631.
- [8] D. Lang, C. Mengelkamp, R. S. Jäger, D. Geoffroy, M. Billaud, and T. Zimmer, "Pedagogical evaluation of remote laboratories in eMerge project," *European Journal of Engineering Education*, Mar 1, 2007, pp. Vol. 32, No. 1, 52-72.
- [9] J. Ma and J. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 38, 3, Sep 30, 2006, pp. 7-es.
- [10] F. Schauer, M. Krbec, P. Beno, M. Gerza, L. Palka, P. Spilaková, and L. Tkac, "REMLABNET III — Federated remote laboratory management system for university and secondary schools," *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* 2016, pp. 238-241.
- [11] M. Tawfik, S. Monteso, F. García-Loro, E. Sancristobal, E. Ruiz, G. Díaz, A. Colmenar Santos, J. Peire, and M. Castro, "Novel design and development of advanced remote electronics experiments," *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 23, 3 2015, pp. 327-336.
- [12] S.W. Tho and Y.Y. Yeung, "An implementation of remote laboratory for secondary science education," *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 34, 5 2018, pp. 629-640.
- [13] A. Chevalier, C. Copot, C. Ionescu, and R. De Keyser, "A Three-Year Feedback Study of a Remote Laboratory Used in Control Engineering Studies," *IEEE Transactions on Education*, Vol. 60, 2, May 2017, pp. 127-133.
- [14] M. Tawfik, S. Monteso, F. García-Loro, P. Losada, J. Antonio-Barba, E. Ruiz, E. Sancristobal, G. Díaz, J. Peire, and M. Castro, "Online Experiments With DC/DC Converters Using the VISIR Remote Laboratory," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, Vol. 10, 4 2015, pp. 310-318.
- [15] F. Schauer, M. Krbec, P. Beno, M. Gerza, L. Palka, and P. Spilaková, "REMLABNET - open remote laboratory management system for e-experiments," *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Feb 2014, pp. 268-273.
- [16] J.R. Brinson, "Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research," *Computers & Education*, Vol. 87 2015, pp. 218-237.
- [17] J.E. Corter, J.V. Nickerson, S.K. Esche, C. Chassapis, S. Im, and J. Ma, "Constructing Reality: A Study of Remote, Hands-on, and Simulated Laboratories," *ACM Trans.Comput.-Hum.Interact.*, Vol. 14, 2, aug 2007, pp. 7-es.
- [18] T.B. Sheridan, "Descartes, Heidegger, Gibson, and God: Toward an Eclectic Ontology of Presence," *Presence: Teleoper.Virtual Environ.*, Vol. 8, 5, oct 1999, pp. 551-559.
- [19] F. Biocca, "Inserting the Presence of Mind into a Philosophy of Presence: A Response to Sheridan and Mantovani and Riva," *Presence: Teleoper.Virtual Environ.*, Vol. 10, 5, oct 2001, pp. 546-556.
- [20] Claesson and L. Håkansson, "Using an Online Remote Laboratory for Electrical Experiments in Upper Secondary Education," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, Vol. 8 2012.
- [21] F. García-Loro, A. Macho, E. S. Cristobal, G. Diaz, M. Castro, W. Kulesza, I. Gustavsson, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, A. Marques, U. Hernandez-Jayo, J. García-Zubia, C. Kreiter, R. Oros, A. Pester, D. Garbi-Zutin, M. Auer, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, K. Valtonen, and E. Lehtikangas, "Experimenting in PILAR federation: A common path for the future," *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* 2018, pp. 1518-1523.
- [22] T. Lynch and I. Ghergulescu, "Review Of Virtual Labs As The Emerging Technologies For Teaching Stem Subjects," *11th International Technology Education Development Conference* 2017, pp. pp. 6082-6091.
- [23] F. García-Loro, E.S. Cristobal, G. Diaz, M. Castro, P. Orduna, W. Kulesza, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, U. Hernandez-Jayo, J. García-Zubia, C. Kreiter, A. Pester, M. Auer, C. Garcia, R. Tavio, K. Valtonen, and E. Lehtikangas, "PILAR: Sharing VISIR Remote Labs Through a Federation," *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Apr 2019, pp. 102-106.
- [24] Gustavsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, I. Claesson, and T. Lagö L., "The VISIR project — an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories, 2010.
- [25] Gustavsson, J. Zackrisson, J.S. Bartunek, H. Åkesson, L. Håkansson, and T. Lagö L., "An Instructional Electronics Laboratory Opened for Remote Operation and Control," *International Conference on Engineering Education* 2006.
- [26] M. Blázquez-Merino, F. García-Loro, P. Plaza-Merino, A. López-Rey, E. San Cristobal-Ruiz, M. Castro-Gil, and M.J. Albert, "Gender comparative research on learning strategies applying the cognitive-motor model methodology and VISIR remote lab," *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 27, 4 2019, pp. 869-884.
- [27] J. García-Zubía and J. M. Sáenz Ruiz de Velasco, "Usando VISIR en el aula: Experiencia con Pre y Post Tests," *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* 2014, pp. 177-179.
- [28] F. García-Loro, M.;Blázquez, P.;Baizan, P.;Plaza, A.;Macho, P.;Orduña, R.;Martin, E.;Sancristobal, M.;Castro,"A Federation of Remote Laboratory OERs: Grid of VISIR systems through PILAR Project". *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. Vol. 16, No. 04, 2020
- [29] I. F. García-Loro, P. Baizán, M. Blázquez-Merino, P. Plaza, A. M. Aroca, P. Orduña, E. S. Cristobal, and M. Castro, "Spreading Remote Laboratory Scope Through a Federation of Nodes: VISIR Case," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, Vol. 14, 4 2019, pp. 107-116.

Nemojitecnia: una metodología docente de apoyo al estudio aplicada a la asignatura de Electrónica

Pedro Manuel Martínez-Jiménez

*Dep. Ingeniería en Automática,
Electrónica, Arquitectura
y Redes de Computadores
Universidad de Cádiz
Cádiz, España
pedromanuel.martinez@uca.es*

Diego Sales-Lérida

*Dep. Ingeniería en Automática,
Electrónica, Arquitectura
y Redes de Computadores
Universidad de Cádiz
Cádiz, España
diego.lerida@uca.es*

Clemente Cobos-Sánchez

*Dep. Ingeniería en Automática,
Electrónica, Arquitectura
y Redes de Computadores
Universidad de Cádiz
Cádiz, España
clemente.cobos@uca.es*

Abstract—En la actualidad, las presentaciones digitales son una de las herramientas más usadas como complemento a la docencia en clase. Aunque los estudios aconsejan que dichas presentaciones sean lo más esquemáticas y resumidas posible, existen ámbitos docentes, como las asignaturas de Electrónica, donde es necesario plasmar numerosos diagramas y fórmulas. Esto suele generar unas presentaciones muy densas y extensas, que pueden resultar más difíciles de asimilar y recordar por parte del estudiante. Como es bien sabido, las reglas nemotécnicas permiten memorizar información asociándola con datos de la práctica cotidiana. En base a esto, en el presente trabajo de innovación docente se introduce el concepto de “nemojitecnia”, que propone el uso de emojis y memes para poder establecer reglas nemotécnicas con el contenido de las presentaciones. La metodología docente propuesta ha sido aplicada en la asignatura de Electrónica en el grado de Ingeniería Mecánica, obteniendo mejoras considerables en los resultados de evaluación.

Index Terms—reglas nemotécnicas, apoyo al estudio, asignatura de electrónica, metodología docente

I. INTRODUCCIÓN

Las presentaciones digitales han demostrado ser una de las herramientas más eficaces como complemento a la docencia en clase, por lo que son ampliamente usadas casi en cualquier área. Existen numerosos estudios y trabajos de innovación docente que tratan de abordar qué tipo de información es necesario aportar al estudiante en dichas presentaciones [15], [22], [27], [30]. Aunque la tendencia natural del docente es la de proporcionar al alumnado el material más completo posible para ayudarle en su estudio posterior de la materia, la mayoría de estos trabajos revelan que unas presentaciones excesivamente extensas pueden ser contraproducentes, consiguiendo el efecto contrario [21], [28]. Por tanto, las presentaciones deben limitarse a plasmar de una forma esquemática y resumida la materia que está desarrollando el docente en clase [24], [11]. Para ello, se aconseja el uso de frases cortas o palabras clave, de elementos gráficos, como diagramas o imágenes, de fórmulas matemáticas, etc., que consigan presentaciones lo más escuetas posible.

Todo lo comentado anteriormente es válido de forma genérica para multitud de materias, donde el docente puede ir desarrollando la mayor parte de la explicación de manera oral, plasmando únicamente en la presentación digital los

resultados o conclusiones más relevantes. Sin embargo, en ciertas asignaturas, como las de Electrónica, esta capacidad de minimización de las presentaciones se ve limitada por la propia naturaleza de la materia tratada. En este ámbito, suelen emplearse continuamente numerosos diagramas y fórmulas para poder ir desarrollando los fundamentos en los que se basan las distintas partes del temario. Obviamente, dicho desarrollo no puede realizarse de forma puramente oral, sin ningún apoyo gráfico, y el uso de la pizarra puede ser tedioso y poco eficiente. La solución más comúnmente utilizada es ir plasmando esos diagramas y fórmulas que forman parte del proceso explicativo en las presentaciones digitales, junto con los resultados o conclusiones finales. Esto da lugar a presentaciones bastante densas y con una extensión considerable, lo que conlleva una mayor dificultad para el estudiante tanto para identificar las partes más relevantes dentro de todo el proceso explicativo, como para asimilarlas y retenerlas.

Por ejemplo, a la hora de explicar el transistor bipolar y su uso en amplificación, lo más usual es partir de la estructura física del dispositivo, lo que permite deducir sus curvas características y los modelos lineales equivalentes, y seguidamente justificar la necesidad de un punto de polarización en la región activa de funcionamiento. Una vez hecho esto, se suelen plantear distintos circuitos de polarización sencillos que consiguen este objetivo, pero con poca estabilidad debido a las grandes fluctuaciones en el valor de β del transistor. Y finalmente, una vez justificada la necesidad de un circuito cuyo punto de polarización tenga poca dependencia de β , se muestran las soluciones más usadas en la práctica, que a pesar de ser circuitos de polarización más complejos, son muy estables. En todo este proceso explicativo hay partes más relevantes para el análisis posterior de circuitos que el alumno debería retener, como los modelos lineales o las configuraciones más usadas en polarización. Sin embargo, la densidad de la presentación puede dificultar esta tarea.

Nuestro objetivo en este proyecto es proporcionar al alumno un mecanismo que permita discriminar y recordar de forma intuitiva aquellas partes de la presentación más destacables, ofreciendo así un apoyo directo al estudio posterior de la materia. Para ello, en el presente trabajo introduciremos el



Fig. 1. Ejemplo de emojis empleados en redes sociales, que permiten expresar emociones, ideas o conceptos.

concepto de *nemojitecnia* (sección II), así como la metodología desarrollada para lograr la mejora docente propuesta (sección III). Posteriormente, en la sección IV, se mostrarán los resultados obtenidos al aplicar dicha metodología sobre la asignatura de Electrónica de segundo curso en el grado de Ingeniería Mecánica. Finalmente, en la sección V se reflejarán las principales conclusiones de este proyecto junto con los posibles trabajos futuros.

II. NEMOJITECNIA

Como se ha comentado en la sección anterior, el objetivo del presente proyecto es proporcionar al alumno un mecanismo que le ayude a identificar y recordar los principales elementos de las presentaciones aportadas por el docente. En este sentido, es ampliamente conocido el concepto de nemotecnica, definido como el conjunto de técnicas de memorización y rememoración basado en la asociación mental de la información a memorizar con los datos de la práctica cotidiana. Por tanto, según estas premisas, bastaría con introducir elementos de uso cotidiano para los alumnos en todas aquellas partes de la presentación que se deseen destacar para que los estudiantes puedan establecer relaciones nemotécnicas que permitan discernir y memorizar dichas partes.

Si existe una acción que hoy en día puede ser considerada como cotidiana en la sociedad actual, y más aún por las nuevas generaciones, es la comunicación escrita a través de dispositivos móviles. Los dispositivos móviles nos permiten estar conectados en cualquier lugar y en todo momento, fomentando nuevos mecanismos de comunicación, como las redes sociales o los servicios de mensajería. Las nuevas generaciones han adoptado de forma nativa estas tecnologías, modificando su lenguaje y su forma de interactuar [14], [19]. Recientes estudios revelan que la mayoría de los jóvenes dedican más tiempo al día a chatear con sus contactos en las redes sociales que a hablar con sus amigos en persona [16].

Uno de los elementos más comunes en prácticamente la totalidad de las redes sociales y servicios de mensajería es la presencia de emoticonos o *emojis*, que permiten expresar emociones, ideas o conceptos de forma gráfica, permitiendo añadir matices gestuales y de intención. En la Figura 1 se pueden apreciar algunos de los emojis más usados en las redes



Fig. 2. Ejemplo de imágenes típicamente usadas en la generación de memes.

sociales. Los emojis surgieron a mediados de los años 90, y desde entonces se han ido implantando en nuestra sociedad hasta tal punto que en 2019 se alzaron con la distinción de “palabra del año 2019” que otorga Fundéu BBVA [4]. De hecho, los emojis forman parte ya de la comunicación diaria y conquistan día a día nuevos espacios más allá de las conversaciones privadas en chats y aplicaciones de mensajería en los que comenzó su uso. Han surgido películas como *The Emoji Movie* en 2017 [8], musicales como *Emojiland* [1], [2], que lleva desde 2016 representándose en Nueva York, convenciones como *Emojicon* [10], [9], celebrada en 2016 en San Francisco y en 2018 en Nueva York, exposiciones en grandes museos como el MoMA [7], e incluso existe un día internacional del Emoji, que se celebra el 17 de julio.

Por otro lado, y en paralelo a los emojis, surgió otro recurso gráfico muy extendido en las redes sociales: los *memes*. Se conoce como meme a la conjunción de una imagen y un texto, normalmente humorístico, que se difunde viralmente a través de Internet, ya sea por medio de las redes sociales o de cualquier otro entorno virtual. En la Figura 2 se pueden apreciar algunas imágenes típicamente usadas en la generación de memes. El término general meme fue acuñado en el ámbito de la genética, donde se expone la hipótesis memética de la transmisión cultural. Así, un meme sería el equivalente cultural de un gen biológico, capaz de transmitirse y sobrevivir en un determinado ecosistema social, y, como los genes, sufrir mutaciones, conjugarse con otros memes para formar unidades culturales más complejas o, en un momento dado, extinguirse por el empuje de otros memes más fuertes que ellos [23]. Los memes constituyen un fenómeno expresivo que, aunque destaquen por su parte humorística, suelen llevar un trasfondo social mucho más amplio, pues permiten que se comparta una idea, concepto, situación, expresión o pensamiento [29]. Además, la facilidad para transformar memes ya existentes mediante textos propios, así como el gran impacto social que provocan, han propiciado su inclusión en prácticamente cualquier ámbito, adaptándolos a las necesidades comunicativas particulares de cada caso [32]. Un claro ejemplo de ello es su introducción en el marketing o la publicidad [25], [12],

[31].

Debido a su innegable impacto en la vida cotidiana y a las perspectivas que se abren de cara al futuro, en el presente trabajo se propone el empleo de emojis y memes como recurso docente. En concreto, se ha considerado su uso para poder establecer reglas nemotécnicas con el contenido de las presentaciones digitales en clase, acuñando así un nuevo concepto: la *nemojitecnia*. Sin embargo, esta no es la única mejora docente que se consigue con el uso de los recursos gráficos planteados. Adicionalmente, se fomenta la empatía entre el profesor y los estudiantes, generando un ambiente más relajado y lúdico en clase, y se reduce el distanciamiento percibido por los alumnos entre el mundo real y el entorno docente, gracias a la integración de elementos de la vida cotidiana en el aula.

La implantación real de esta propuesta en el ámbito docente plantea dos cuestiones. Por un lado, si es posible desarrollar algún tipo de proceso sistemático para dicha implantación, y por otro, si esta propuesta introduce alguna mejora docente cuantificable. Ambas cuestiones son abordadas en las secciones III y IV, respectivamente.

III. METODOLOGÍA PROPUESTA: NEMOJIFICACIÓN

En esta sección se plantea una metodología que permita aplicar de la forma más sistemática posible el recurso docente que hemos definido bajo el nombre de *nemojitecnia*. En el presente proyecto se ha partido de una presentación digital ya existente empleada en cursos previos, lo que introduce dos beneficios significativos: por un lado, permite tener una visión global de todo el material de clase, lo que facilita la identificación de las partes más relevantes; y por otro, se dispone de referencias previas a la introducción del recurso docente, lo que permite comparar y cuantificar la mejora introducida, como se verá en la sección IV. Sin embargo, la metodología planteada es igualmente aplicable para la creación de nuevas presentaciones.

Dicha metodología, que por coherencia con la nomenclatura introducida previamente hemos denominado como *nemojificación*, se ha dividido en tres fases claramente diferenciadas, no solo por la tarea a realizar, sino también por las competencias docentes necesarias en cada caso¹. A continuación se describen cada una de ellas (secciones III-A, III-B y III-C), y se muestran algunos ejemplos representativos de su aplicación (sección III-D).

A. Identificación de partes relevantes

La primera fase del proceso de nemojificación consiste en identificar dentro de la presentación digital las distintas partes que se deseen destacar por su relevancia en el tema o porque puedan presentar una mayor dificultad para el alumno a la hora de asimilarlas y recordarlas. En esta fase se exige al docente el dominio de las competencias teóricas, conceptuales

o científicas en la materia concreta [18], que en este caso es el temario de la asignatura de Electrónica.

En ese sentido, el escenario más adecuado es aquel en el que el docente haya impartido la asignatura previamente, pues podrá identificar más fácilmente aquellas partes en las que los estudiantes han tenido más dificultad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Asimismo, en esta fase también puede ser muy útil la colaboración de alumnos que hayan cursado ya la asignatura. En concreto, para este proyecto se han cumplido ambas condiciones, pues el docente ya había impartido la asignatura en cursos anteriores, y se realizaron una serie de encuestas al alumnado para identificar aquellas partes que creían necesario destacar en el temario de acuerdo a los conocimientos exigidos en la evaluación.

B. Asociación con las ideas a transmitir

Una vez identificadas aquellas partes que es necesario destacar de la presentación digital, en esta segunda fase de la metodología propuesta se debe definir, para cada una de ellas, la idea principal, concepto o sensación que se desea transmitir al alumno, creando así una asociación o vínculo mental con dicha parte. En esta fase se exige al docente el dominio de las competencias didácticas, comunicativas y creativas [13].

Esta es sin duda la fase más importante y compleja de la metodología propuesta, pues requiere por parte del docente de una gran capacidad comunicativa, para poder sintetizar en una sola idea o concepto lo que se quiere transmitir, así como una gran capacidad creativa e imaginación, para ser capaz de crear esa asociación con la parte correspondiente de la presentación. Téngase en cuenta que cuanto más sorprendentes e impactantes sean dichas asociaciones, mayor poder retentivo ejercerán sobre el estudiante. Para este proyecto en concreto, se ha hecho uso de la cooperación de varios docentes, combinando su creatividad mediante tormentas de ideas.

C. Transformación de la idea en recurso gráfico

La última parte de la metodología propuesta consiste en plasmar gráficamente esa idea o concepto definido en la fase anterior mediante la adaptación particular del texto de un meme o el uso de uno o varios emojis que sean adecuados para la transmisión de esa idea. En esta fase se exige al docente el dominio de las competencias sociales y digitales (en nuevas tecnologías) [26], [17].

Obviamente, para poder desarrollar esta última parte de la metodología es de gran importancia que el docente tenga experiencia en el uso de los mecanismos de comunicación actuales, y esté familiarizado con los elementos gráficos que suelen emplearse. Asimismo, también puede ser muy útil la colaboración de cualquier otro personal externo, especialmente si pertenece al mismo grupo generacional que los estudiantes, pues tendrá un conocimiento más cercano de los recursos gráficos más empleados actualmente. En este sentido, han cooperado en este proyecto numerosos alumnos colaboradores, familiares y amigos de los docentes involucrados, con edades comprendidas entre los 18 y los 25 años.

¹Por *competencias docentes* entenderemos el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes, de orden cognitivo, afectivo y práctico, necesarias para el desarrollo profesional del docente [20].

Todos los recursos gráficos necesarios para este proyecto pueden obtenerse de forma totalmente gratuita y de uso libre a través de internet. En el caso de los emojis, existe una página web [3] dedicada exclusivamente a recopilar este tipo de recursos. En ella aparecen, para cada emoji, las distintas versiones que han ido surgiendo a lo largo del tiempo en cada una de las principales plataformas y redes sociales. En el caso de los memes, existen numerosas páginas web que permiten elegir de entre las principales imágenes usadas para este tipo de recursos, añadir el texto deseado, y descargar el meme generado. Entre ellas, podemos destacar [5] y [6].

D. Ejemplos de aplicación

Para una mejor comprensión de la metodología propuesta, en las figuras 3, 4 y 5 se muestran algunos ejemplos prácticos donde ha sido aplicada. En concreto, dichos ejemplos forman parte de la presentación usada en la asignatura de Electrónica de segundo curso en el grado de Ingeniería Mecánica, que es sobre la cual se ha aplicado el presente proyecto de innovación docente.

Como se ha comentado en la sección I, a la hora de estudiar el transistor bipolar como amplificador, lo más usual es introducir primero circuitos de polarización sencillos para mostrar al alumno la necesidad de un punto de trabajo en la región activa de funcionamiento. Seguidamente, se comprueba que en esos circuitos el punto de polarización es muy variable debido a las grandes fluctuaciones del parámetro β del transistor, y se muestran las soluciones más usadas en la práctica, que a pesar de ser circuitos de polarización más complejos, son muy estables. En cursos previos, se detectó que los alumnos tenían dificultad para asimilar y recordar esa variabilidad de β , y por tanto, la necesidad de esos circuitos de polarización más estables. Por eso, se ha aplicado la metodología propuesta a esta parte de la presentación, con la intención de ayudar al estudiante a su comprensión y asimilación.

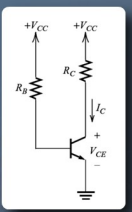
En la Figura 3 se muestran las diapositivas en las que se expone la variabilidad del parámetro β del transistor bipolar. Hasta ese punto de la presentación, se ha supuesto que dicho parámetro tiene un valor fijo y conocido, por lo que se pueden emplear circuitos de polarización simples, como el que aparece en la diapositiva, para ajustar el punto de trabajo a la región activa de funcionamiento. Antes de revelar al alumno que en realidad el valor de ese parámetro β es muy variable y no se puede controlar ni conocer a priori, intentamos guiar al alumno por un razonamiento lógico aunque incorrecto para tratar de fijar mejor esos conceptos. En primer lugar, exponemos al alumno que, dado un valor de β , el punto de trabajo con el circuito de polarización mostrado en la diapositiva está en la región activa, pero para otro valor de β distinto el punto de trabajo puede irse a corte o saturación. La idea que queremos transmitir en este caso es la de contratiempo y decepción, usando para ello los emojis que aparecen en la parte superior de la Figura 3(a).

Sin embargo, el alumno puede llegar a pensar que esto no es un gran problema, pues, dado un valor de β concreto, siempre podríamos ajustar los valores de las resistencias de

3.6 Circuitos de polarización

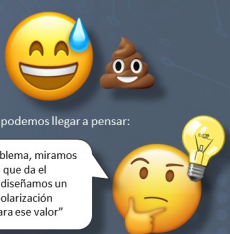
Efecto del valor de β sobre la polarización

- Así, con el circuito de polarización visto en el ejemplo, tenemos un punto Q apropiado para $\beta=100$, pero no para $\beta=300$.



Sin embargo, podemos llegar a pensar:

"No hay problema, miramos el valor de β que da el fabricante y diseñamos un circuito de polarización adecuado para ese valor"



Electrónica Pedro Manuel Martínez Jiménez ESI Transistores Página 174

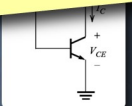
(a)

3.6 Circuitos de polarización

Efecto del valor de β sobre la polarización

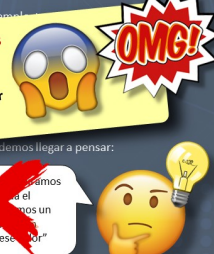
- Así, con el circuito de polarización visto en el ejemplo, tenemos un punto Q apropiado para $\beta=100$.

!!! En la práctica, no vamos a saber el valor de β de un transistor, pues para un mismo modelo puede variar hasta un 500% !!!



Sin embargo, podemos llegar a pensar:

"No hay problema, miramos el valor de β que da el fabricante y diseñamos un circuito de polarización adecuado para ese valor"



Electrónica Pedro Manuel Martínez Jiménez ESI Transistores Página 175

(b)


3.6 Circuitos de polarización

Efecto del valor de β sobre la polarización

- Por ejemplo, de las hojas características del transistor 2N3904 (un transistor bipolar de tipo NPN del fabricante Motorola), obtenemos la siguiente información:

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
DC Current Gain ($I_c = 10 \text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ V}_{dc}$)	β	100	300	-
Base-Emitter Voltage ($I_c = 10 \text{ mA}$)	$V_{BE(on)}$	0.65	0.85	V_{dc}

Esta tabla nos indica que la β del transistor que adquiramos, puede estar comprendida entre 100 y 300



Electrónica Pedro Manuel Martínez Jiménez ESI Transistores Página 176

(c)

Fig. 3. Ejemplo de aplicación de la metodología propuesta: explicación de la variabilidad del parámetro β del transistor bipolar.

ese circuito de polarización para hacerlo trabajar en la región activa. En la parte inferior de la Figura 3(a) estamos reflejando esta idea con un emoji en actitud pensativa, guiando al alumno a que se plantee dicha solución. Finalmente, en la siguiente

3.6 Circuitos de polarización

Circuito de autopolarización de 4 resistencias

- Es el circuito de polarización **más empleado** con diferencia, pues permite tener un valor de I_C **muy estable** frente a las variaciones de β .

Electrónica
Pedro Manuel Martínez Jiménez

Transistores
Página 207

(a)

3.6 Circuitos de polarización

Circuito de autopolarización de 4 resistencias

- Es el circuito de polarización **más empleado** con diferencia, pues permite tener un valor de I_C **muy estable** frente a las variaciones de β .

Electrónica
Pedro Manuel Martínez Jiménez

Transistores
Página 208

(b)

Fig. 4. Ejemplo de aplicación de la metodología propuesta: explicación del circuito de auto-polarización de 4 resistencias para transistores bipolares, que permite tener un punto de trabajo muy estable frente a los cambios de β .

diapositiva, mostrada en la Figura 3(b), se revela al alumno que en realidad el valor de ese parámetro es muy variable y no se puede controlar ni conocer a priori, pues el fabricante solo puede darnos un margen de variación, que es bastante amplio. Esto implica que la posible solución planteada en la diapositiva anterior no tendría sentido, y que los circuitos de polarización simples vistos hasta el momento no son válidos para mantener un punto de trabajo estable en la región activa. Por tanto, llegados a este punto, la sensación que se intenta transmitir al estudiante es de asombro y desconcierto ante la nueva información recibida, procurando causar el mayor impacto posible en él. Para ello, se ha usado un emoji con expresión de estupor y las conocidas siglas *OMG*. Así, se facilita al estudiante un vínculo o asociación mental directa entre la información que debe recordar y los emojis, a los cuales está habituado en la práctica cotidiana. Asimismo, esta idea se acentúa aun más en la siguiente diapositiva (Figura 3(c)), donde se muestra una tabla procedente de la hoja de características de un transistor bipolar, en la cual aparece el

2.1 El diodo ideal

Polarización directa

- Vamos a introducir el diodo ideal en el circuito más simple que existe para ver el efecto de la polarización.

Electrónica
Pedro Manuel Martínez Jiménez

Diodos
Página 7

(a)

2.1 El diodo ideal

Polarización inversa

- En cambio, si se coloca el diodo en el otro sentido, la fuente de tensión impone un potencial mayor en el cátodo que en el ánodo.

Electrónica
Pedro Manuel Martínez Jiménez

Diodos
Página 11

(b)

Fig. 5. Ejemplo de aplicación de la metodología propuesta: explicación de la polarización directa e inversa del diodo.

margen de variación de β que proporciona el fabricante, junto con un emoji que expresa decepción y frustración (conocido como *facepalm*).

En la Figura 4 se muestran las diapositivas en las que se introduce el circuito de auto-polarización de 4 resistencias para transistores bipolares, que permite tener un punto de trabajo muy estable frente a los cambios de β . En primer lugar, en la Figura 4(a), se intenta transmitir al alumno esa idea de estabilidad frente al valor de β . Para ello, se ha usado un meme en el cual el personaje está en estado de meditación y no se ve alterado por la presencia de los símbolos β que lo rodean. Este recurso gráfico crea un impacto visual en el alumno que le permite recordar la existencia de un circuito de polarización con este tipo de características. Seguidamente, en la diapositiva de la Figura 4(b), se intenta transmitir al alumno que este es el circuito de polarización más adecuado en la práctica, y que es importante memorizar la fórmula correspondiente.

Por último, en la Figura 5, se muestra otro ejemplo de aplicación de la metodología propuesta, correspondiente al estudio del diodo y su polarización en directa e inversa. En

TABLE I

COMPARATIVA DE LAS CALIFICACIONES OBTENIDAS POR LOS ESTUDIANTES DURANTE EL CURSO 2018-19, DONDE YA SE HA APLICADO LA METODOLOGÍA PROPUESTA, CON LAS CALIFICACIONES OBTENIDAS EN LOS DOS CURSOS ANTERIORES (2016-17 Y 2017-18).

	2016-17	2017-18	2018-19
Porcentaje de aprobados	27.8%	30.3%	40.9%
Nota media de los aprobados	6.4	6.5	6.9

este caso, aunque los conceptos que se introducen en esa parte de la presentación son bastante básicos (el diodo conduce con polarización directa y no conduce en inversa), se trata de acentuar aun más esa idea mediante el uso de memes que causen un impacto visual en el alumno.

IV. RESULTADOS

Como se ha comentado anteriormente, la metodología propuesta en el presente proyecto ha sido aplicada en la práctica sobre la asignatura de Electrónica de segundo curso en el grado de Ingeniería Mecánica. Para evaluar los resultados de la mejora docente introducida, se han comparado las calificaciones obtenidas por los estudiantes durante el curso 2018-19, donde ya se ha aplicado la metodología propuesta, con las calificaciones obtenidas en los dos cursos anteriores (2016-17 y 2017-18). En dicha comparativa se han analizado tanto el porcentaje de aprobados como la nota media obtenida. Dichos indicadores aparecen reflejados en la Tabla I.

Como se puede apreciar, dichos indicadores han crecido considerablemente sin la mediación de otros factores externos, llegándose a incrementar en más de un 47% el porcentaje de aprobados respecto a los cursos precedentes. Asimismo, también se aprecia un aumento sustancial en la nota media de dichos aprobados, creciendo en 0.4/0.5 puntos.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En el presente trabajo se ha presentado un proyecto de innovación docente cuyo objetivo es el de ayudar al estudiante a asimilar y memorizar la información más relevante de las presentaciones digitales empleadas en clase. La metodología propuesta se basa en las ampliamente usadas reglas nemotécnicas, que tratan de asociar la información que se debe memorizar con elementos cotidianos. En concreto, para este proyecto, se ha planteado la utilización de emojis y memes, pues cada día es más común su uso debido a los nuevos mecanismos de comunicación (redes sociales y servicios de mensajería), introduciendo así el concepto de *nemojitecnia*. La función del docente en este proyecto es la de resaltar la información más relevante de las presentaciones mediante los elementos gráficos mencionados, creando en el estudiante una asociación mental que le permita recordar más fácilmente dicha información. La metodología propuesta en el presente proyecto ha sido aplicada en la práctica sobre la asignatura de Electrónica de segundo curso en el grado de Ingeniería Mecánica, obteniendo unos resultados que abalan la mejora docente introducida por dicha metodología.

Como trabajo futuro, se plantea una sistematización, en la medida de lo posible, de la metodología propuesta, para intentar facilitar la labor del docente en la creación o adaptación de las presentaciones digitales. Por ejemplo, se podría crear una base de datos de recursos gráficos (emojis y memes), donde cada uno de ellos tendría asociada una serie de palabras clave, ideas o conceptos con los que podría relacionarse. De esta forma, sería posible mecanizar el paso 3 de la metodología propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los alumnos de la asignatura de Electrónica en el grado de Ingeniería Mecánica del curso 2017-18 por la realización de las encuestas que han ayudado a identificar aquellas partes del temario que era necesario destacar mediante la metodología propuesta. Asimismo, también queremos agradecer la ayuda de compañeros, alumnos colaboradores, familiares y amigos que han cooperado en la asociación de ideas y recursos gráficos usados en el presente proyecto.

REFERENCES

- [1] "Emojiland," <https://www.emojiland.com/>, accessed: 2020-02-25.
- [2] "Emojiland Review: There's a Rom-Com in Your Phone. With Music," <https://www.nytimes.com/2020/01/19/theater/emojiland-review-theres-a-rom-com-in-your-phone-with-music.html>, accessed: 2020-02-25.
- [3] "Emojipedia," <https://emojipedia.org>, accessed: 2020-02-25.
- [4] "Fundéu bbva," <http://www.fundeu.es/palabra-del-anno/2019/>, accessed: 2020-02-25.
- [5] "Meme generator," <https://www.memegenerator.es/crear>, accessed: 2020-02-25.
- [6] "Meme generator imgflip," <https://imgflip.com/memegenerator>, accessed: 2020-02-25.
- [7] "MoMA acquires latest masterpieces: The world's first emoji," <https://mashable.com/2016/10/26/original-emoji-moma/>, accessed: 2020-02-25.
- [8] "The Emoji Movie," <https://www.imdb.com/title/tt4877122/>, accessed: 2020-02-25.
- [9] "Un encuentro con emojis: estuvimos en el Emojicon de Nueva York," <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/un-encuentro-con-emojis-nid2159132>, accessed: 2020-02-25.
- [10] "What It's Like Inside the World's First Emoji Convention," <https://time.com/4559662/emojicon-emoji-convention-2016/>, accessed: 2020-02-25.
- [11] M. H. Alonso Mosquera, J. E. González Vallés, and A. B. Muñoz de Luna, "Ventajas e inconvenientes del uso de dispositivos electrónicos en el aula: percepción de los estudiantes de grados en comunicación," *Revista de Comunicación de la SEECI*, no. 41, 2016.
- [12] B. Bury, "Creative use of internet memes in advertising," *World Scientific News*, vol. 57, pp. 33–41, 2016.
- [13] E. L. Calichs, "El proceso de formación de las competencias creativas. una necesidad para hacer más eficiente el aprendizaje de los estudiantes universitarios," *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 40, no. 3, p. 6, 2006.
- [14] S. S. Castillo and R. M. Pérez, "Redes sociales y jóvenes universitarios: usos e identidad personal," *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, no. 10, pp. 696–714, 2016.
- [15] D. Cordero Badilla and G. Pizarro Chacón, "Estrategias de enseñanza innovadoras: un reto para el docente actual," *Revista Ensayos Pedagógicos*, vol. 6, no. 2, pp. 189–203, dic. 2011.
- [16] L. Cruz Diana, "Adolescentes y redes sociales en la era digital," Ph.D. dissertation, Departamento de Educación. Universidad de las Islas Baleares, 2017.
- [17] D. J. Cuadra-Martínez, P. J. Castro, and M. T. Juliá, "Tres saberes en la formación profesional por competencias: integración de teorías subjetivas, profesionales y científicas," *Formación universitaria*, vol. 11, no. 5, pp. 19–30, 2018.

- [18] M. D. Cuartero, I. G. Porlán, and M. P. P. Espinosa, "Análisis conceptual de modelos de competencia digital del profesorado universitario," *RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, vol. 15, no. 1, pp. 97–114, 2016.
- [19] E. Gonzalez García and N. Heredia, "Redes sociales como factor incidente en el área social, personal y académica de alumnos de educación secundaria obligatoria," *Tendencias Pedagógicas*, vol. 32, pp. 133–146, 06 2018.
- [20] R. González Rivallo and A. Gutiérrez Martín, "Competencias mediática y digital del profesorado e integración curricular de las tecnologías digitales," *Revista Fuentes*, 19 (2), 57-67., 2017.
- [21] T. Guasch and M. Castelló, "An approach to teaching note-taking in secondary education: A descriptive study," *Infancia y Aprendizaje*, vol. 25, no. 2, pp. 169–181, 2002.
- [22] O. Maroto, "El uso de las presentaciones digitales en la educación superior: una reflexión sobre la práctica / use of digital presentations in higher education: a reflexion on practice," *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, vol. 8, 08 2008.
- [23] J. Martínez, "Una aproximación retórica a los memes de internet," *Signa: Revista de la Asociación Española de Semiótica*, vol. 27, p. 995, 04 2018.
- [24] C. Monereo and M. L. Pérez, "The incidence of notetaking on meaningful learning. a study on higher education," *Infancia y Aprendizaje*, vol. 19, no. 73, pp. 65–86, 1996.
- [25] N. Murray, A. Manrai, and L. Manrai, "Memes, memetics and marketing," *The Routledge companion to the future of marketing*. Nova York: Routledge, pp. 331–347, 2014.
- [26] K. V. Pozos Pérez and J. Tejada Fernández, "Competencias digitales en docentes de educación superior: niveles de dominio y necesidades formativas," *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, vol. 12, no. 2, pp. 59–87, 2018.
- [27] N. Puiggrós, "Los procesos formativos en el aula: estrategias de enseñanza-aprendizaje," *Didáctica general para psicopedagogos*, pp. 465–528, 01 2001.
- [28] W. Ramirez Valdez and J. Barajas Villarruel, "Uso de las plataformas educativas y su impacto en la práctica pedagógica en instituciones de educación superior de san luis potosí," *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, no. 60, p. a360, jul. 2017.
- [29] G. P. Salazar, "El meme en internet. identidad y usos sociales," *Chasqui. Revista Latinoamericana de Comunicación*, p. 417, 12 2017.
- [30] A. M. Schilman, "El proceso de incorporación y utilización de presentaciones digitales en el aula desde la perspectiva del docente universitario," Ph.D. dissertation, Universidad de San Andrés. Escuela de Educación, 2015.
- [31] H. Sharma, "Memes in digital culture and their role in marketing and communication: A study in india," *Interactions: Studies in Communication & Culture*, vol. 9, no. 3, pp. 303–318, 2018.
- [32] L. Shifman, *Memes in Digital Culture*. The MIT Press, 2013.



Session TS-1B

Digital Systems I

Diseño de Sistema de Realidad Aumentada para el Aprendizaje Inmersivo de Electrónica Digital

Sergio Martin, Gerardo Parra, Joaquín Cubillo, Blanca Quintana, Rosario Gil, Clara Perez, Manuel Castro
Dep. Ing. Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química aplicada a la Ingeniería
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, Spain
smartin@ieec.uned.es

Abstract— El presente artículo describe el desarrollo de dos aplicaciones móviles para el aprendizaje de Electrónica Digital. La primera aplicación se trata de una app interactiva para iOS donde estudiar los distintos circuitos digitales, y que servirá de base para la segunda, que es un juego de preguntas en realidad aumentada.

Keywords— *Electrónica Digital, Realidad Aumentada, Aplicación Móvil, Aprendizaje Inmersivo*

I. INTRODUCCIÓN

Enseñar y aprender es una labor con un alto grado de dificultad. El uso de las nuevas tecnologías [1] va a permitir utilizar un medio de enseñanza que facilite la labor de transmisión de conocimientos, por otro lado se va a contar con la ventaja de utilizar un medio muy atractivo para los jóvenes que va a facilitar su motivación a la hora de aprender. De este modo las Tablet pasan a ser un método de integración y un gran avance para el proceso enseñanza-aprendizaje.

Este trabajo se centra en el aprendizaje de la Electrónica Digital, su objetivo es ofrecer una herramienta que nos permita utilizar un medio tan atractivo para los estudiantes de hoy en día como es el aprendizaje móvil.

Este artículo persigue dos objetivos fundamentales:

1. Descripción de una aplicación móvil para iOS con simuladores de circuitos de Electrónica Digital.
2. Descripción de una aplicación móvil para iOS de realidad aumentada basada en reconocimiento de patrones que incluye un juego además de integrar los simuladores de circuitos de Electrónica Digital anteriormente descritos.

Esta investigación pretende ser de utilidad para todos aquellos docentes e investigadores interesados en nuevas formas de enseñar asignaturas técnicas como la Electrónica Digital.

La organización de este artículo es la siguiente: En el capítulo II se da una breve introducción al uso de aplicaciones móviles y en concreto de realidad aumentada en educación. En el capítulo III se describe la aplicación móvil para Electrónica Digital desarrollada por los autores. El capítulo IV se centra en la otra aplicación móvil desarrollada por los autores, en este caso de realidad aumentada. Y finalmente en el capítulo V se dan las conclusiones obtenidas en este trabajo.

II. APRENDIZAJE MÓVIL Y AUMENTADO

Las nuevas tecnologías pretenden facilitar en gran medida las tareas diarias de cada persona, desde estar localizados en cualquier lugar y en cualquier momento a disponer de la información sobre cualquier tema sin más que contar con una conexión a Internet.

Estas tecnologías móviles están siendo utilizadas en todos los ámbitos de la sociedad, por supuesto también en el educativo. El aprendizaje móvil puede tener lugar en cualquier lugar y en cualquier instante, tanto en los entornos tradicionales de aulas y talleres como en bibliotecas, lugares de trabajo, en casa o la oficina, además el hecho de disponer de estos equipos y de una conectividad móvil permite incorporar otras nuevas tecnologías que se verán más adelante como podrían ser la realidad aumentada o los entornos virtuales de aprendizaje [2].

Autores como Lin [3] enumeran alguna de las virtudes que proporciona su uso en educación:

- Fomento de la participación de los alumnos en clase. Incluso los más tímidos tendrían una oportunidad de contribuir.
- Mantener el nivel de atención del alumno y su interés por seguir los contenidos, ya que estos pueden ser interactivos, multimedia etc.

- Favorecer el pensamiento crítico y la creatividad permitiendo al alumno descubrir y participar en la construcción de conocimiento.
- Ayuda al docente a averiguar el grado de comprensión de los contenidos en tiempo real.
- Flexibilidad y espontaneidad en la presentación de contenidos.

En cuanto a la Realidad Aumentada (RA), es una tecnología que tuvo su inicio en 1962, comenzó a destacar por las posibilidades que ofrece en distintos ámbitos, la industria, el marketing, el comercio y la educación [4] [5] [6].

La definición más popular sobre RA es la dada por Milgram y Kishino [7] quienes indican que: "entre un entorno real y un entorno virtual puro esta la llamada realidad mixta y esta se subdivide en dos, la realidad aumentada (más cercana a la realidad) y la virtualidad aumentada (más próxima a la virtualidad pura)." [8] [9].

Otra definición comúnmente aceptada es la aportada por Ronald Azuma [10] que acota a la RA a la que cumple estos tres requisitos:

- Combinación de elementos virtuales y reales.
- Interactividad en tiempo real.
- Información almacenada en 3D.

III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

El trabajo se basa en el diseño y desarrollo de dos aplicaciones para el sistema operativo iOS que favorezcan el aprendizaje de la Electrónica Digital. Mediante el uso de una Tablet el alumno tendrá acceso a menús sencillos e intuitivos que le permitirán conocer de manera rápida y eficaz los conocimientos necesarios sobre la Electrónica Digital.

En ambas aplicaciones se pretende dotar a los alumnos de materiales didácticos sobre Electrónica Digital que abarquen los siguientes circuitos:

- Puertas Lógicas
 - NOT
 - AND
 - NAND
 - OR.
 - NOR
 - XOR
 - XNOR
- Sistemas Combinacionales
 - Multiplexor
 - Demultiplexor

- Codificador
- Decodificador

• Sistemas secuenciales:

- R-S Asíncrono Activo a Nivel Alto
- R-S Asíncrono Activo a Nivel Bajo
- J-K Asíncrono
- R-S Síncrono Activado por Nivel
- D Síncrono Activo por Nivel
- J-K Síncrono Master – Slave
- T Síncrono Activo Flanco Bajada.

IV. APLICACIÓN IOS CON INFORMACIÓN DE COMPONENTES Y SIMULADOR VIRTUAL

La primera de estas aplicaciones estará realizada bajo el soporte de Xcode y consistirá en la realización de un Curso de Electrónica Digital en el que se abarcará los siguientes aspectos: Puertas lógicas, sistemas combinacionales y sistemas secuenciales.

Además, en todas ellas se tendrá un simulador mediante el cual se podrá simular el funcionamiento del dispositivo real. Actuando sobre las entradas se simularán las salidas que se obtendrían para cada uno de los casos posibles.

El desarrollo de los contenidos dentro de la aplicación será mediante la creación de fichas informativas para cada uno de los circuitos. Dichas fichas informativas contendrán los siguientes datos, tal y como se puede observar en las figuras 1 y 2:

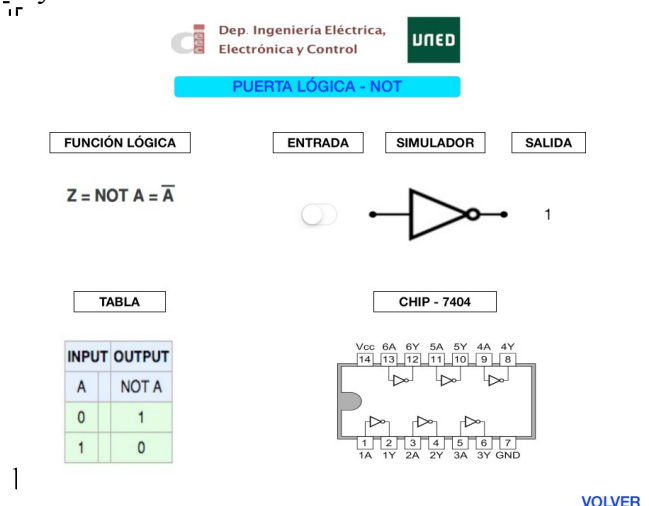


Fig. 1. Pantalla de la aplicación desarrollada con Xcode para puerta lógica NOT.

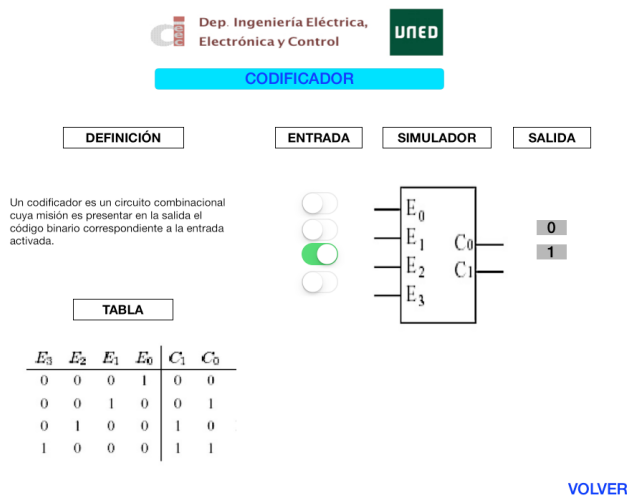


Fig. 2. Pantalla de la aplicación desarrollada con Xcode para circuito combinacional codificador.

V. APLICACIÓN IOS DE REALIDAD AUMENTADA

La segunda de las aplicaciones busca sorprender a los alumnos utilizando una herramienta nueva y poco conocida por el público en general como es Vuforia apoyándonos en la herramienta de desarrollo de Unity.

Se trata de unas librerías que nos van a permitir utilizar realidad aumentada, esta técnica consiste en superponer imágenes ficticias sobre imágenes reales capturadas mediante la cámara en tiempo real (Figura 3). Estará basada en la misma aplicación efectuada en Xcode pero con el añadido que nos ofrecen las librerías de Vuforia para desarrollo de experiencias de realidad aumentada.

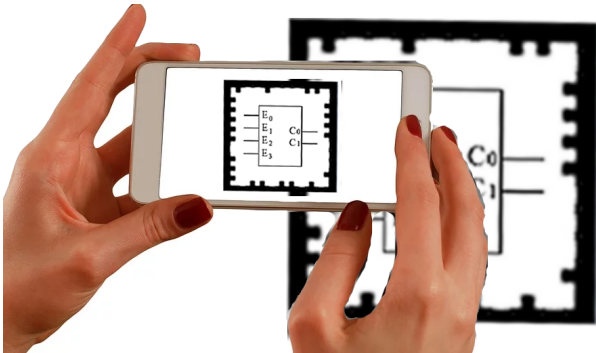


Fig 3. Escaneo de patron de circuito combinacional con aplicación de realidad aumentada.

Partiendo de la aplicación anteriormente comentada, creada en Xcode, se pretende desarrollar un curso de Electrónica Digital que abarque los mismos aspectos pero enfocándolos de distinta manera. En el desarrollo del curso se mostrarán los mismos tipos de circuitos de la aplicación anterior, pero en este caso se preguntará por el símbolo correspondiente a un circuito, el cual será seleccionado al azar para cada pregunta entre todos los tipos que abarca la aplicación, se

contestará utilizando los patrones y la cámara del dispositivo, nos mostrará si la respuesta es correcta o errónea y nos contará tanto los aciertos como los errores.

A. Elección y uso de patrones

Los patrones o ImageTarget son imágenes con la complejidad necesaria para que la librería de Vuforia pueda encontrar suficientes referencias dentro de la misma y así poderlas detectar y tratar como patrones.

Estas imágenes, una vez detectadas, al contener múltiples puntos de referencia, permiten a la librería seguir detectándolas aunque estén sólo parcialmente cubiertas y enfocadas por la cámara.

Una característica interesante es que se pueden utilizar imágenes seleccionadas por el programador entre las imágenes que se desean detectar. Para ello se utiliza una herramienta online que puede encontrarse en la propia página web de Vuforia (Target Management System).

La cantidad máxima de imágenes de este tipo que la librería permite detectar simultáneamente es de cinco, aunque en el caso que nos ocupa solo será necesario detectar una de manera simultánea.

En el proceso de selección de los patrones se determinó que debido a la simplicidad de los símbolos utilizados en electrónica digital se producían falsas detecciones o inestabilidad al superponer imágenes sobre los patrones en el entorno de Unity. La solución encontrada fue la utilización de unos patrones que vienen prefijados con Vuforia unidos a los símbolos de los distintos circuitos que utilizamos. De esta manera la unión de ambas imágenes nos dan los suficientes puntos de referencia para que la detección de Vuforia funcione de manera precisa.

A modo de ejemplo se muestra en la figura 4 alguno de los patrones utilizados, como por ejemplo el patrón de la puerta NOT, de la puerta AND, de un codificador y de un biestable RS.

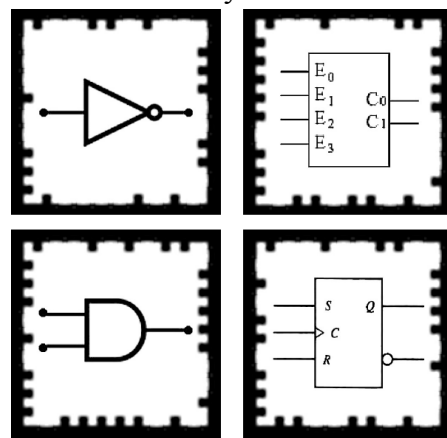


Fig. 4. Ejemplo patrones de Vuforia usados en la aplicación de realidad aumentada para Electrónica Digital

Una vez diseñadas las imágenes patrones, es necesario subirlas al “Target Management System” de Vuforia. Se trata de la herramienta online proporcionada por la arquitectura Vuforia para la creación de los patrones de reconocimiento utilizados por el SDK de Vuforia para la identificación de los objetos y su posterior tratamiento.

El “Target Management System” nos ofrece una herramienta basada en la web para los desarrolladores que utilizan el SDK Vuforia para crear esos “DataSet” (Figura 5) a partir de una imagen importada a la herramienta. El objeto que crea se quedará almacenado en la página de Vuforia y se podrá descargar para su utilización en nuestra aplicación de Unity.

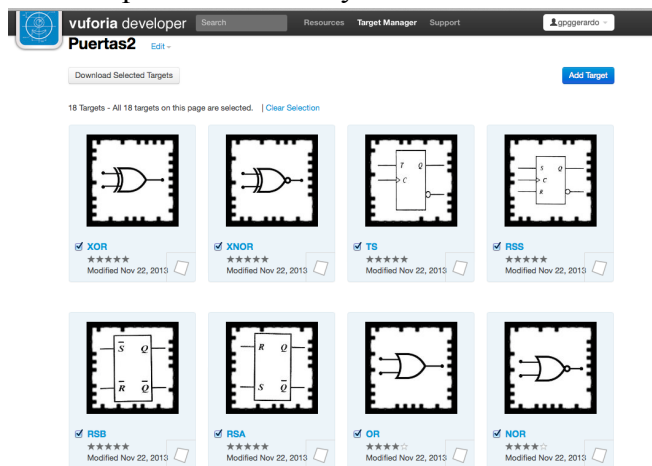


Figura 5. Dataset con los patrones de Electrónica Digital en el TargetManager de Vuforia

Esta aplicación se ha desarrollado utilizando 2 entornos de desarrollo distintos, por un lado Vuforia que se encarga de la parte de captación y reconocimiento de los patrones correspondientes a cada circuito y por otro lado Unity que nos permitirá crear el entorno de la aplicación.

Una vez ya tenemos definido el Dataset con los patrones ya podemos exportarlo e integrarlo en nuestra aplicación Unity, donde podremos desarrollar nuestra aplicación de realidad aumentada haciendo uso de los mismos (Figura 6).

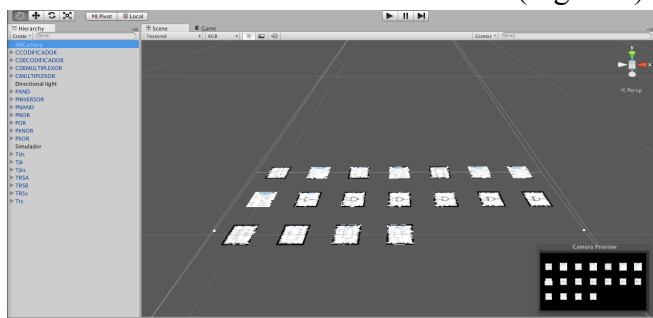


Figura 6. Patrones de puertas lógicas en la aplicación de realidad aumentada desarrollada en Unity.

B. Funcionamiento de la aplicación

La aplicación se divide en tres apartados que desarrollarán el curso desde tres aspectos muy diferenciados (Figura 7), aunque todos ellos basados en el uso de la cámara del dispositivo sobre unos patrones diseñados para tal efecto.



ELECTRÓNICA DIGITAL



PULSA TU OPCIÓN PARA EMPEZAR

V 1.3

Fig. 7. Pantalla inicial de la aplicación de realidad aumentada donde se le da al usuario la opción de elegir una de las 3 funcionalidades de la aplicación.

Estos apartados son:

1. **Información de puertas y sistemas.** Al enfocar el patrón correspondiente a cada uno de los circuitos, se superpondrá sobre la imagen real una imagen que nos mostrará la información correspondiente al circuito que está asignado al patrón enfocado con la cámara del dispositivo. La Figura 8 muestra un ejemplo de lo que ocurre al escanear con el dispositivo móvil el patrón correspondiente a una puerta AND. En tal caso, cuando el sistema lo detecta ejecuta la acción asociada que en este caso es simplemente poner encima del patrón una imagen previamente diseñada.

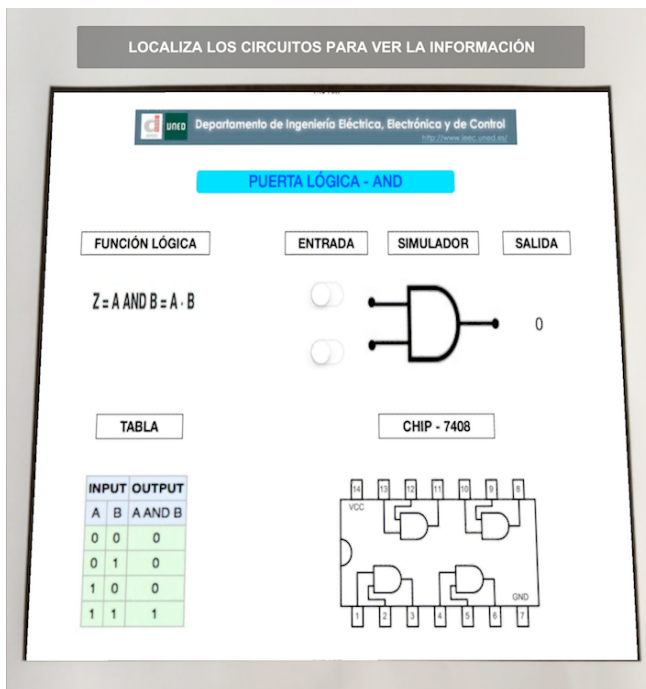


Fig. 8. Pantalla de la aplicación de realidad aumentada donde simplemente se le da información del circuito al apuntar al patrón correspondiente.

2. **Simulador puertas y sistemas.** Al enfocar el patrón correspondiente a cada uno de los circuitos se pondrá sobre la imagen real una imagen que nos mostrará la información correspondiente al circuito que está asignado al patrón enfocado con la cámara del dispositivo (Fig. 9).

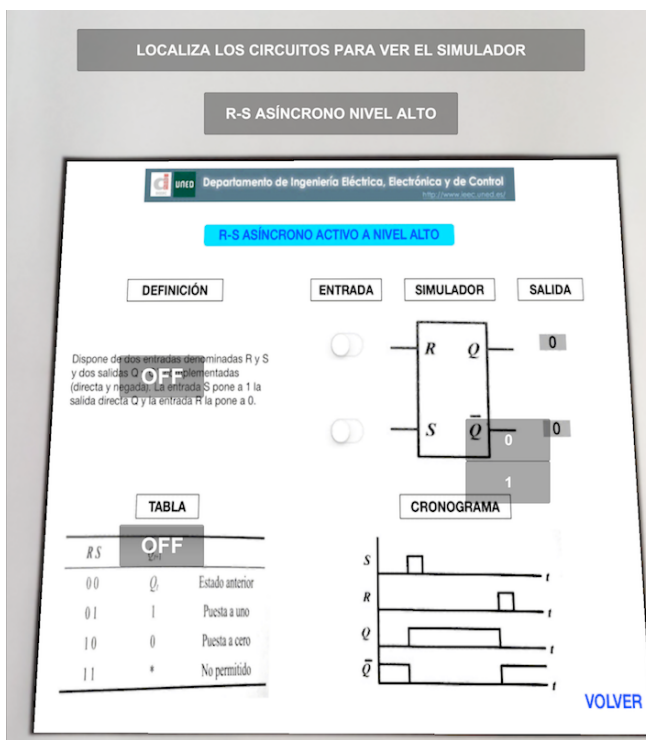


Fig. 9. Pantalla de la aplicación de realidad aumentada donde además de proporcionar información del circuito al apuntar al patrón correspondiente.

patrón correspondiente se le permite al usuario interactuar con las entradas para ver el resultado de las salidas.

Además se accederá a un simulador del circuito correspondiente, donde actuando sobre las entradas se simulará la salida para cada uno de los casos en función de la tabla de la verdad de cada uno de ellos. Este simulador consiste en un script que en base al valor de las entradas definidas por el usuario calcule y muestre el resultado de la salida (Figura 9).

3. **Juego de preguntas.** En este caso se preguntará por el símbolo correspondiente a un circuito, el cual será seleccionado al azar para cada pregunta entre todos los tipos que abarca la aplicación, se contestará utilizando los patrones y la cámara del dispositivo, nos mostrará si la respuesta es correcta o errónea (Figura 10).

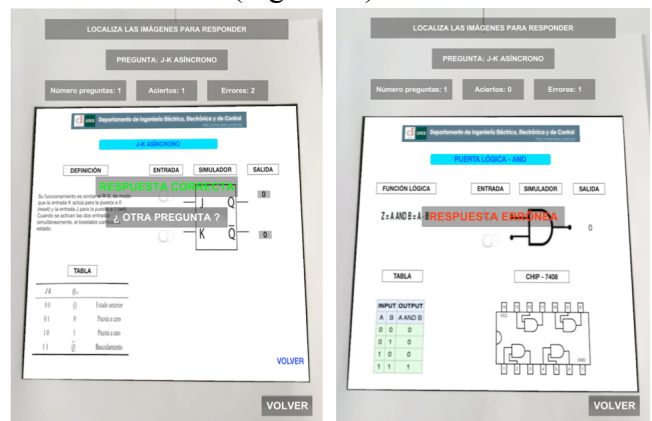


Fig. 10. Escenas del juego de realidad aumentada donde se le dice al alumno si ha acertado (izquierda) o no (derecha).

Al entrar a este apartado, sale la imagen captada por la cámara del iPad y el nombre del circuito que nos indica como pregunta. A continuación la aplicación ya estará lista para apuntar sobre uno de los patrones de la base de datos para efectuar la respuesta. Una vez esté enfocado uno de los patrones, la aplicación lo reconocerá y si está a una distancia suficiente indicará si la respuesta es correcta o errónea. En caso de ser correcta aumentará el número de aciertos y dará la opción de realizar otra pregunta. En caso de ser errónea sumará un error y se quedará a la espera de una nueva respuesta con un patrón diferente.

VI. CONCLUSIONES

La utilización de aplicaciones móviles y de experiencias de realidad aumentada en educación ha sido tratado ampliamente en la literatura. Sin

embargo, su utilización en enseñanzas técnicas es aún minoritaria. Por ello, los autores han desarrollado estas dos aplicaciones como prueba de concepto que permitan seguir investigando en la posible mejora del aprendizaje de alumnos de ingeniería a través de estas tecnologías.

El principal inconveniente encontrado en el desarrollo de estas aplicaciones ha sido la rapidez con la que evolucionan las herramientas para el desarrollo de estas experiencias, así como la dificultad que estos desarrollos tienen para aquellos docentes sin conocimientos de programación.

Es por ello, que como líneas de trabajo futuras marcamos el desarrollo de entornos de autoría de este tipo de aplicaciones educativas que permitan a cualquier docente desarrollarlas sin tener conocimientos de programación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por la Comunidad de Madrid a través del proyecto eMadrid-CM mediante la ayuda S2018/TCS-4307, cofinanciada con Fondos Estructurales Europeos (FSE y FEDER).

REFERENCIAS

- [1] S. Martin, G. Diaz, E. Sancristobal, R. Gil, M. Castro, and J. Peire, "New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence," *Comput. Educ.*, vol. 57, no. 3, pp. 1893-1906, 2011, doi: 10.1016/j.compedu.2011.04.003.
- [2] S. Martin, E. Lopez-Martin, A. Lopez-Rey, J. Cubillo, A. Moreno-Pulido, and M. Castro, "Analysis of New Technology Trends in Education: 2010–2015," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 36840–36848, 2018. doi: 10.1109/access.2018.2851748
- [3] T. Lin, H. B. Duh, N. Li, H. Wang, and C. Tsai. 2013. An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system *Computers & Education*, vol. 68, pp. 314 - 321.
- [4] S. Martin, E. J. Lorenzo, M. Rodriguez-Artacho, S. Ros, R. Hernandez, and M. Castro. 2012. Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON); Ubiquitous annotation and a collaborative open mobile augmented reality In, 1 - 5.
- [5] J. Cubillo, S. Martín, M. Castro, A. Colmenar, Recursos Digitales Autónomos Mediante Realidad Aumentada. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia (RIED)*, vol. 17, no. 2, 2014, pp. 241-274 Asociación Iberoamericana de Educación Superior a Distancia.
- [6] J. Cubillo, S. Martin, M. Castro, I. Boticki. Preparing augmented reality learning content should be easy: UNED ARLE—an authoring tool for augmented reality learning environments. *Computer Applications in Engineering Education* 23 (5), 778-789, 2015.
- [7] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. 2351, 11.
- [8] K. Hsiao, and H. F. Rashvand. 2011. 2011 Fifth FTRA International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering; Body Language and Augmented Reality Learning Environment In , 246 - 250.
- [9] P. H. Diao and N. J. Shih, "Trends and Research Issues of Augmented Reality Studies in Architectural and Civil Engineering Education—A Review of Academic Journal Publications," *Appl Sci*, vol. 9, no. 9, pp. 1840, 2019. doi: 10.3390/app9091840.
- [10] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. Macintyre 2001. Recent Advances in Augmented Reality. vol. 21, pp. 34 - 47.

Aprendizaje Espaciado y Gamificado de Electrónica Digital

Sergio Martin, Blanca Quintana, Gabriel Diaz, Manuel Castro
Dep. Ing. Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química
aplicada a la Ingeniería

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, Spain
smartin@ieec.uned.es

Miguel Santamaria
Dep. Historia Económica

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, Spain

Abstract— Este estudio analiza una experiencia de gamificación en una asignatura de Electrónica Digital de un Grado de Ingeniería Electrónica para evaluar si la metodología de educación espaciada contribuye a la mejora de la motivación del estudiante y a la mejora del aprendizaje. La experiencia de gamificación se lleva a cabo mediante una plataforma que entrega automáticamente cada día una serie de preguntas a los estudiantes por correo electrónico y elabora un ranking.

Keywords— *gamificación; electrónica digital; educación espaciada;*

I. INTRODUCCIÓN

Iniciativa de innovación docente que consiste en una experiencia gamificada de educación espaciada destinada a promover el estudio continuo y la motivación de la asignatura Electrónica Digital en los Grados en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y en cuarto curso de las titulaciones de Grado en Ingeniería Eléctrica, Grado en Tecnologías Industriales y de Grado en Ingeniería Mecánica.

Diversos estudios demuestran que el aprendizaje espaciado mediante el uso de casos por correo electrónico, preguntas o mensajes cortos puede mejorar la adquisición y la retención del conocimiento específico del tema [1]. Otros estudios han demostrado que este aprendizaje espaciado gamificado adaptativo es eficaz y bien aceptado como método para la educación médica de posgrado [2].

En el caso de nuestra asignatura, se ha querido probar su eficacia en el entorno de enseñanzas técnicas, algo que no aparece hasta ahora en la bibliografía. El objetivo de este sistema aplicado en la educación a distancia de Electrónica Digital es "enganchar" a los estudiantes con un juego que les anime a ir estudiando poco a poco durante todo el cuatrimestre, disminuyendo así la tasa de abandono por una mala planificación.

Para llevar a cabo el juego se ha utilizado la plataforma UNED Trivial desarrollada como un plug-in de Moodle.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La fundamentación teórica de este sistema surge, tal y como concluyen muchos autores, como Green [2], de que la motivación, la retroalimentación formativa y la planificación programada son elementos importantes para el aprendizaje autorregulado.

La influencia de la motivación en el aprendizaje está fuera de toda duda, y ha sido un factor recurrente en la literatura. En este sentido, hay cuatro mecanismos principales a través de los cuales la motivación puede afectar el aprendizaje, como lo afirma Ormrod [3]:

- Aumenta el nivel de energía y actividad del individuo [4, 5].
- Impulsa a los individuos hacia ciertos objetivos, afectando sus elecciones y sus consecuencias reforzadoras [6].
- Promueve la iniciación de ciertas actividades y que la persona persiste en ellas [6]. La motivación aumenta la probabilidad de que un individuo comience algo por su propia iniciativa, persistiendo a pesar de las dificultades y reanudando la tarea después de una interrupción temporal.
- Afecta las estrategias de aprendizaje y los procesos cognitivos que un individuo muestra en una tarea [7].

Gibbs [8] demostró que la retroalimentación es una habilidad de enseñanza importante y se reconoce como fundamental para el aprendizaje efectivo. Según varios autores como Glenberg [9] o Toppino [10], la educación espaciada en línea puede ser una forma efectiva de mejorar las habilidades de enseñanza y retroalimentación sobre el aprendizaje de la medicina. Estos estudios se centraron en los residentes quirúrgicos porque la metodología es independiente del tiempo y el lugar (aprendizaje distribuido).

Bjork [11] definió el término educación espaciada como programas educativos que se

construyen para aprovechar el efecto del trabajo espaciado. Esta propuesta se basa en el hallazgo psicológico de que la capacitación o material educativo espaciado y repetido en el tiempo (distribución espaciada) da como resultado una mayor adquisición de conocimiento y retención de contenido que cuando el mismo material se presenta en un punto de tiempo único (distribución masiva). En dichos programas, el material se presenta en pequeños nuggets espaciados, y se accede a él a conveniencia de los estudiantes; el contenido se repite y se refuerza.

Los estudios de Franklin [12] y de Kerfoot [13, 14] demostraron que el aprendizaje espaciado mediante el uso de casos por correo electrónico, preguntas o mensajes cortos puede mejorar la adquisición y la retención del conocimiento específico del tema. El estudio de Rider demostró que este aprendizaje espaciado gamificado adaptativa es eficaz y bien aceptada como método para la educación médica de posgrado [14].

III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En nuestro caso, nuestros estudiantes reciben cada día, de ahí que se trata de educación espaciada (temporalmente), por email dos preguntas de repaso de los distintos temas del curso, tal y como se puede observar en la figura 1.



Fig. 1. Pantallazo de las preguntas disponibles para el estudiante cada día dentro de UNED Trivial.

Según si aciertan o no obtienen una puntuación (+50) u otra (-25) y se va generando un ranking de puntuaciones. Este ranking es el que causa la gamificación. Cuando se falla una pregunta el estudiante obtiene un mensaje de realimentación que le permite aprender de su error. A través de estos comentarios, los estudiantes construyen su conocimiento, corrigiendo fallas y reforzando los éxitos (figura 2).

Las preguntas contestadas correctamente se reenvían para consolidar lo aprendido. Cuando una pregunta se responde correctamente en dos días distintos de manera consecutiva, se retira.



Fig. 2. Retroalimentación ofrecida al errar una pregunta de UNED Trivial.

Cada vez que se responde a una pregunta se tiene acceso a un mini-tablero de puntuaciones (5 posiciones) para conocer la posición relativa en el ranking. El estudiante puede consultar su posición en el ranking absoluto y consultar su historial de respuestas con fallos y aciertos, tal y como se puede observar en la figura 3.

TU POSICIÓN EN RANKING:
 Tu puntuación total: -25
 Preguntas retiradas: 0/16 (0% finalizado)

Posición	Usuario	Puntos
4	J [redacted] za	2148
5	N [redacted] gal	2052
6	J [redacted] jo	852
7	Bot Smith gomez	0
8	S M	-25

Fig. 3. Ranking de puntuaciones de estudiantes de UNED Trivial.

Todo esto le permite al estudiante:

- Aprovechar tiempos muertos repasando y consolidado lo estudiado
- Mantener un contacto diario con las asignaturas en las que está matriculado
- Repasar lo estudiando beneficiándose del efecto test
- Incrementar la retención a largo plazo gracias al espaciamiento de las preguntas
- Divertirse jugando con sus compañeros de estudio.

El juego se basa en dos principios psicológicos relacionados con el aprendizaje y que están ampliamente testados:

- El efecto test. Está probando que la mejor forma de consolidar lo que hemos estudiado es responder a preguntas sobre

ello, ya que así generamos rutinas de recuperación de la información.

- El efecto espaciado. Para promover la retención a largo plazo lo mejor es responder a las mismas preguntas en varias ocasiones separadas por un lapso determinado.

Adicionalmente, el profesor tiene un sistema de *learning analytics* completo donde puede seguir el progreso de sus estudiantes. Entre los datos disponibles, están los relacionados con los resultados de la clase (y también para cada estudiante), las estadísticas sobre las preguntas o la posibilidad de enviar correos electrónicos al grupo más / menos involucrado, entre otras cosas. A modo de ejemplo, la figura 4 muestra la gráfica y analíticas relacionadas con el rendimiento global de los participantes.

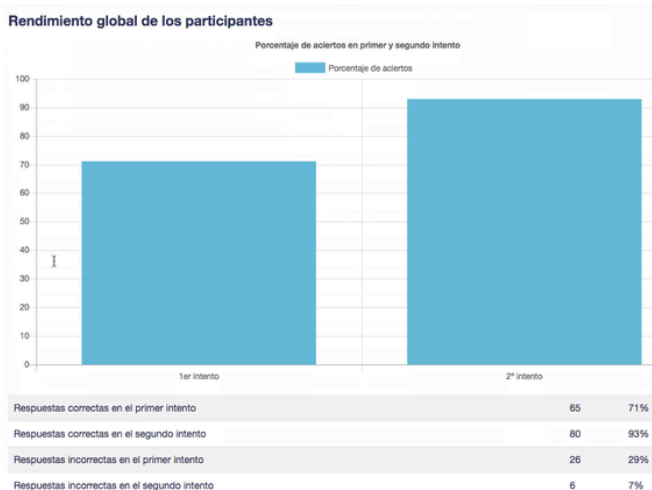


Fig. 4. Pantallazo del módulo de learning analytics de UNED Trivial, mostrando el rendimiento global de los participantes.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

El éxito del entorno gamificado en el curso 2017/18 se ha medido a través de una encuesta anónima con escala Likert que mide una serie de factores de relevancia. A continuación se resumen los resultados:

- Sexo. El 75% eran hombres
- Edad: Mayoritariamente entre 30 y 37, aunque hay un participante de 53.
- Estudios previos. 50% vienen de formación profesional, el resto son ya licenciados o han hecho la selectividad.
- Situación laboral actual. El 100% es trabajador en activo.

En qué nivel el estudiante piensa que UNED Trivial le ha ayudado a:

- Aprovechar mejor el tiempo que he empleado en estudiar.

- No dejar para el final el estudio de la asignatura. Mayoritariamente:
- Organizar mi tiempo de estudio de manera más eficaz.
- Motivarme al estudio.
- Interesarme más por la materia
- Planificar mejor el estudio de la asignatura
- Tener una información más precisa de cómo avanzaba en el estudio gracias al feedback recibido
- Ir mejor preparado/a al examen
- Aprender mejor la asignatura, en su conjunto
- Las preguntas me han servido para repasar y profundizar en lo aprendido
- Las preguntas me han servido para comprobar mis conocimientos
- Recibir la misma pregunta varias veces me ha resultado útil para consolidar lo aprendido

En todos estos ítems mayoritariamente los estudiantes otorgaron la puntuación máxima: un 5 sobre 5.

También se ha medido la experiencia del estudiante con la herramienta con las siguientes preguntas:

- Me ha gustado mucho trabajar en esta actividad. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- He sentido que hacer esta actividad era una oportunidad. Resultado mayoritario: 4 sobre 5
- Cada día estaba esperando la llegada de las preguntas. Resultado mayoritario: 4 sobre 5
- Creo que soy bastante bueno/a en esta tarea. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- He encontrado esta actividad muy interesante. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Me sentía tenso mientras hacía la actividad. Resultado mayoritario: 1 sobre 5
- Creo que lo he hecho bastante bien, en comparación con otros estudiantes. Resultado: Disparidad de opiniones por igual.
- Ha sido divertido. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Estoy satisfecho/a con mi rendimiento en esta actividad. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- He sentido presión mientras hacía la tarea. Resultado mayoritario: 1 sobre 5

- Después de haber trabajado en esta actividad durante un tiempo, me he sentido más competente para estudiar la asignatura. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Creo que esta es una actividad importante para la asimilación de la asignatura. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Creo que esta actividad ha mejorado mis hábitos de estudio. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Me gustaría hacer esta actividad en otra asignatura. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- Recibir puntos me ha resultado estimulante. Resultado mayoritario: 5 sobre 5
- La posibilidad de compararme con las puntuaciones de otros compañeros me ha servido para superarme. Resultado mayoritario: 3 sobre 5

También se ha indagado sobre el tipo de dispositivo utilizado:

- Teléfono móvil: 0%
- Tableta: 0%
- Ordenador portátil: 50%
- Ordenador de mesa: 50%

Contrariamente a lo esperado, las preguntas se han respondido principalmente con ordenadores en lugar de con dispositivos móviles.

Así mismo, también es importante saber la frecuencia con la que el estudiante ha contestado las preguntas:

- En el momento en que me llegaban: 0%
- En tiempos muertos durante el día: 50%
- En momentos en que necesitaba cambiar de actividad: 0%
- Por la noche, al estar ya relajado/a en casa: 50%
- Al repasar los temas: 0%

Por otro lado, se ha preguntado sobre en qué grado refleja cada ítem tu forma de pensar, sentir o actuar:

- Antes del UNED Trivial ya estaba familiarizado/a con el uso de dispositivos móviles. Resultado mayoritario: 5 sobre 5.
- El uso del UNED Trivial me ha resultado fácil. Resultado mayoritario: 5 sobre 5.
- Me estimula tener un tablero de posiciones diario. Resultado mayoritario: 3 sobre 5.
- Soy usuario habitual de las redes sociales. Resultado mayoritario: 4 sobre 5.

- Aprender mediante retos me parece estimulante. Resultado mayoritario: 5 sobre 5.

También se preguntaba en qué medida se siente preparado el estudiante para el examen::

- Nada: 0%
- Algo: 25%
- Bastante: 50%
- Totalmente: 25%

Finalmente se ha preguntaba qué es lo que más y menos le ha gustado de la experiencia, con opiniones muy positivas que invitaban a implantar la metodología en otras asignaturas. También se animaba a fomentar su uso entre estudiantes ya que cuantos más estudiantes participen más divertido esa nivel de competición.

Como se puede apreciar, los resultados de los cuestionarios en ambos casos son muy satisfactorios y prometedores y nos animan a seguir trabajando en esa línea.

V. CONCLUSIONES

En esta primera experiencia con la herramienta UNED Trivial, hemos analizado la opinión de los alumnos en términos relacionados con diferentes aspectos pedagógicos, como la organización del estudio de los contenidos de la asignatura, la motivación, la preparación del examen final, el rendimiento visto por el alumno, los efectos didácticos de una competencia real con sus compañeros y una serie de otros criterios.

Como conclusiones, el principal hallazgo obtenido de este estudio es que la metodología de educación espaciada a través de la herramienta UNED Trivial parece traer también beneficios importantes en el campo de la educación en Electrónica Digital, no solo para la medicina donde se demostró que es útil. Entre los beneficios de usar esta metodología encontramos mejoras en la organización del autoaprendizaje, la motivación y la adquisición del aprendizaje.

Los resultados globales fueron prometedores, desafiándonos a repetir la experiencia, aplicando la metodología a otras materias y áreas.

AGRADECIMIENTOS

UNED Trivial ha sido desarrollada por Juan David Castellón y dirigido por Miguel Santamaría. Los autores agradecen a ambos su trabajo y disponibilidad a que otros investigadores experimenten con esta herramienta.

Este trabajo ha sido cofinanciado por la Comunidad de Madrid a través del proyecto eMadrid-CM mediante la ayuda S2018/TCS-4307,

cofinanciada con Fondos Estructurales Europeos (FSE y FEDER).

REFERENCIAS

- [1] S. Martin, G. Diaz, M. Castro and M. Rodriguez-Artacho, "Increasing Engagement in a Network Security Management Course through Gamification," 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Dubai, United Arab Emirates, 2019, pp. 1380-1383.
- [2] J.A. Greene, C.M. Bolick, and J. Robertson, Fostering historical knowledge and thinking skills using hypermedia learning environments: The role of self-regulated learning, *Computers & Education*, vol. 54, 2010, pp. 230-243.
- [3] J.E. Ormrod, *Aprendizaje Humano* (4th ed.), Pearson Prentice Hall, 2011.
- [4] M.D. Vernon, *Human Motivation*, Cambridge: Cambridge University Press, 1969.
- [5] M.L. Maehr, and H.A. Meyer, Understanding motivation and schooling: where we've been, where we are and where we need to go, *Educational Psychology Review*, 9, 1997, pp. 371-409.
- [6] C.S. Dweck and E.S. Elliott, Achievement motivation, in E.H. Hetherington, *Handbook of child psychology: Vol. 4. Socialization, personality and social development* (4th ed.). New York: Wiley, 1983.
- [7] P.R. Pintrich, R.W. Marx, and R.A. Boyle, Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change, *Review of Educational Research*, 63, 1993, pp. 167-199.
- [8] G. Gibbs and C. Simpson, Conditions Under Which Assessment Supports Students' Learning, *Learning and Teaching in Higher Education*, Issue 1, 2004-05.
- [9] A.M. Glenberg and T.S. Lehmann, Spacing repetitions over 1 week, *Memory & Cognition*, 1980, vol. 8, pp. 528-564.
- [10] T.C. Toppino, J.E. Kasserman, W.A. Mracek, The effect of spacing repetitions of the recognition memory of young children and adults, *Journal of Experimental Childhood Psychology*, 1991, vol. 51 pp. 123-161.
- [11] R.A. Bjork. Retrieval practice and the maintenance of knowledge, *Practical Aspects of Memory: Current Research and Issues*. New York: John Wiley & Sons; 1988, pp. 396-401.
- [12] P.D. Franklin, P.F. Rosenbaum and M.P. Carey, Using sequential email messages to promote health behaviors: evidence of feasibility and reach in a worksite sample, *Journal of Medical Internet Research*, 2006, vol. 8:e3.
- [13] B.P. Kerfoot, H.E. Baker and M.O. Koch, Randomized, controlled trial of spaced education to urology residents in the United States and Canada, *Journal of Urology*, 2007, vol. 177, pp. 1481-1488.
- [14] B.P. Kerfoot, W.C. DeWolf and B.A. Masser, Spaced education improves the retention of clinical knowledge by medical students: a randomized controlled trial. *Medical Education*, 2007, vol. 41, pp. 23-54.

Si la montaña no viene a Mahoma ... Redescubriendo el potencial de las tutorías.

Jaime Jiménez

Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
jaime.jimenez@ehu.es

Aitzol Zuloaga

Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
aitzol.zuloaga@ehu.es

Iñigo Kortabarria

Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
inigo.kortabarria@ehu.es

Edorta Ibarra

Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
edorta.ibarra@ehu.es

Jesús Lázaro

Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
jesus.lazaro@ehu.es

Abstract—Esta comunicación no plantea las tutorías como acompañar ni asesorar a los estudiantes en su vida académica, sino meramente como la oportunidad de resolver dudas que no han quedado despejadas en las clases presenciales. No obstante, el alumnado rara vez acude a esta oferta, por lo que quedan desaprovechadas; además, cuando lo hace, suele ser en la víspera del examen, demasiado tarde para enderezar el rumbo. Ante esto, los autores proponen una dinámica de ejercicios individualizados, que son aclarados y evaluados en las tutorías. Lógicamente, hace falta un reclamo que lleve al alumnado a vencer sus reticencias a acudir a las tutorías; ha quedado probado que una recompensa de 0,1 o 0,2 puntos por ejercicio, con un máximo de entre 0,5 y 1 –todas estas cantidades, sobre 10– es suficiente y adecuado. Los resultados de aplicar este método en el grupo de euskera de Sistemas digitales, de 3º del Grado de ingeniería en tecnología de telecomunicación, han sido altamente satisfactorios.

Keywords— Tutoría, evaluación continua, estímulos didácticos

I. INTRODUCCIÓN

Esta comunicación no plantea las tutorías como un espacio para acompañar ni asesorar a los estudiantes en su vida académica [1], sino meramente como la oportunidad de resolver dudas que no han quedado despejadas en las clases presenciales [2-3]. Sin embargo, ante esta oferta, la más habitual en nuestro entorno, el alumnado rara vez acude, por lo que quedan desaprovechadas; además, cuando lo hace, suele ser en la víspera del examen, demasiado tarde para enderezar el rumbo.

Varias son las consecuencias de este desatino; la más grave: el alumnado desperdicia un recurso fértil y pierde la oportunidad de adquirir conocimientos valiosos y sólidos. Por otra parte, el profesorado tiende a ver las (pocas y esporádicas) tutorías como un estorbo en su quehacer habitual y, consecuentemente, a reducirlas a la mínima expresión.

II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Desde esta experiencia tan común en nuestras aulas, en el curso 2018-19 los autores introdujeron unas sencillas novedades en las tutorías del grupo de euskera de Sistemas digitales, de 3º del Grado de ingeniería en tecnología de telecomunicación [4], y las han repetido en el 19-20:

Escribir a cada estudiante un correo personal, de forma que se sienta invitado a título particular –no es un llamamiento general, desdibujado, por el que no me siento interpelado–.

El mensaje le propone un ejercicio –si es muy corto, pueden ser varios– significativo y útil de cara a preparar la asignatura.

Además, lo insta a resolverlo y presentárselo al profesor, que lo someterá a un examen oral simple y cordial, al objeto de determinar si meramente ha copiado la solución, si lo ha entendido y, sobre todo, de encaminarlo en la preparación de la asignatura –qué conceptos y estrategias son clave para adquirir las competencias requeridas–.

Las dudas, pegas y preguntas no son óbice para celebrar la cita. En la tutoría, el alumno puede plantear sus dificultades: el profesor se las aclarará, lo orientará en su resolución y lo animará a perseverar en el ejercicio. Por tanto, antes de darlo por acabado –y de conseguir la correspondiente nota–, puede que tenga que acudir varias veces a la tutoría.

De esta manera, el estudiante se siente interpelado de manera individual y se incorpora a una dinámica de realizar ejercicios y resolver dudas que lo conduce a asimilar la asignatura y no rendirse ante el examen final.

Una vez superada la prueba particular, el profesor le propone otro ejercicio diferente.

Cada ejercicio resuelto le reporta una pequeña nota, dentro de la evaluación continua. Hemos comprobado que 0,1, sobre 10, es eficaz y suficiente. En determinadas circunstancias, se pueden otorgar 0,2, por ejercicios especialmente complejos y largos.

Hace falta reservar una parte de la nota final –dentro de la evaluación continua– a estas tareas. Hemos comprobado que entre 0,5 y 1 es adecuado. Caben incluso, sin modificar las reglas de calificación anteriores, fórmulas del tipo: hasta 0,5 puntos, solo en el caso de que en el examen escrito obtenga entre 4,5 y 5.

A menudo, el profesorado objeta que es inviable proponer ejercicios hasta que la asignatura ha avanzado hasta cierto grado de madurez; en ocasiones, demasiado tarde para empezar una dinámica como esta. La solución es empezar con los repetidores: al menos los que ya se han presentado alguna vez a los exámenes finales, o lo han intentado, deberían

conocer la asignatura lo suficiente como para enfrentarse a cualquier ejercicio –con ayuda–.

En el caso de alumnado novel –también de repetidores “recalcitrantes”, frustrados– se debe empezar con ejercicios resueltos detalladamente, y adaptados a su nivel, si son novatos.

Una vez que, la primera semana del curso, ya han recibido la invitación los repetidores, se puede escribir a los nuevos en la segunda. A partir de estas propuestas iniciales, el sistema se autocompensa: el profesorado va respondiendo a medida que el alumnado lo demanda.

Conviene, la quinta o sexta semana –incluso antes– volver a intentar “rescatar” al alumnado que no se ha sumado a la iniciativa.

No es necesaria una colección muy amplia de ejercicios: entre 15 y 20, suficientemente diferentes, puede ser bastante. Lo imprescindible es que sean significativos.

Hay que intentar que dos estudiantes no reciban el mismo ejercicio. Sin embargo, esto puede ir en contra del punto anterior, y no siempre es viable. La solución es identificar los grupos naturales de estudiantes y procurar que los ejercicios se repitan, pero en grupos aislados.

Si bien la tutoría individual es una práctica recogida habitualmente en la literatura especializada [5-6], no así combinarla con ejercicios particulares. La experiencia más similar a la nuestra se relata en [7]; sin embargo, no explica cómo asignan los problemas –aparentemente, de forma automática (aleatoria), o los mismos a todo el alumnado–. En cualquier caso, las tutorías responden a un planteamiento general de la asignatura, no a los ejercicios particulares de cada estudiante. No hemos encontrado una metodología equivalente a la nuestra, en la comunidad internacional.

III. CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO

A. Ventajas

1. Algunos estudiantes que, sin invitación expresa, habrían descartado asistir a tutorías, vencen el recelo inicial y acuden.

2. Habitualmente, el alumnado se siente forzado a abandonar algunas materias, puesto que se ve incapaz de abarcar todas. En su balance subjetivo entre beneficios y esfuerzos, apostará por aquella en la que ya ha invertido un tiempo considerable –resolviendo los ejercicios individuales–.

3. Efecto difusor. Aunque solo una parte del alumnado participe en el método, si los ejercicios que han resuelto son lo bastante distintos y numerosos como para abarcar toda la colección, esta última estará a disposición del grupo entero. Bien sabemos que la mayoría del alumnado prepara las asignaturas –sobre todo, los exámenes– en equipo, recurriendo a sus grupos naturales. Si alguno de sus amigos o conocidos le puede explicar cualquiera de los problemas clave, se beneficiará del método, aun sin haber tomado parte.

4. Estas tutorías se convierten también en encuentros en los que conocer la perspectiva discente: qué obstáculos son percibidos y cómo mejorar la dinámica.

B. Inconvenientes

1. Debido a la cantidad de potenciales estudiantes, y a lo impredecible de las respuestas –ritmos, horarios, etc.–, resulta insoslayable una gestión administrativa meticulosa.

2. Lógicamente, esta forma de llevar las tutorías exige al profesorado una dedicación muy superior a la tradicional.

3. La ayuda personalizada –una especie de clase particular– no resulta suficiente estímulo. Hay que ofrecer, inexcusablemente, una nota, aunque sea pequeña, lo que habitualmente requiere modificar el sistema de evaluación.

IV. CUESTIONES ADMINISTRATIVAS

Al objeto de reflejar adecuadamente las consecuencias académicas de realizar correctamente los ejercicios –puntos adicionales conseguidos–, conviene registrar:

1. Nombre y apellidos del alumno.
2. Fecha en la que se le remitió la invitación.
3. Ejercicio concreto propuesto.
4. Fecha en la que lo termina –más eficaz hacerla coincidir con la siguiente propuesta–.
5. Puntos conseguidos.

Por otro lado, hace falta disponer de una colección de ejercicios, ordenada según el avance de la materia; sobre todo, que permita proponer alguno al alumnado novel la primera semana o la segunda. Algunos de ellos deberían estar resueltos, pero no la mayoría; aunque un estudiante exponga un ejercicio resuelto, el profesorado puede interrogarlo sobre el desarrollo, interpretar los resultados, y puede orientarlo en cómo afrontar otros, sin solución publicada.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

A la hora de valorar cualquier innovación docente, los autores propugnamos que la primera condición, innegociable, es no modificar el sistema de evaluación, a fin de poder comparar los resultados nuevos, con los antiguos. Lo más habitual es justo lo contrario: el profesorado didácticamente innovador suele argumentar que, sin cambiar el sistema de evaluación, resulta inviable introducir mejoras docentes.

Discrepamos de esa postura; de hecho, dudamos de que esté demostrada, y de que sea cierta. Por eso mismo, el sistema de evaluación, la estructura de los exámenes, el tipo de problemas, y, en general, toda la asignatura de Sistemas digitales se ha mantenido escrupulosamente inalterada. Estas restricciones en sí mismas equivalen a una evaluación externa. Por tanto, es factible comparar los resultados entre varios años académicos, en el grupo de euskera de Sistemas digitales, de 3º de grado.

- En 2017-18, último año en el que no se aplicó el método, de 32 matriculados, hubo 14 no presentados y 6 suspensos.
- Si bien los resultados en 2015-16 y 2016-17 no fueron tan alarmantes, sí empezaron a revelar una peligrosa deriva en el rendimiento académico, sin duda vinculada a que la nota media de entrada en el Grado de telecomunicación va descendiendo lentamente.
- En 2018-19 empezamos con la innovación. La respuesta del alumnado fue inesperadamente entusiasta: de 35, participaron, con intensidades muy diversas, 29.

Los resultados fueron muy satisfactorios: de 35, 1 no presentado y 3 suspensos.

- En 2019-20, ha bajado el entusiasmo y el rendimiento. De 25 matriculados, 6 no presentados –a 5 se lo prohibimos, por no haber aprobado el laboratorio- y 4 suspensos; aunque todavía falta la convocatoria extraordinaria, en la que prevemos que el balance final sean 1 o 2 no presentados, y otros tantos suspensos.

Una de las razones por la que ha bajado la matrícula en 2019-20 es precisamente el éxito académico de 2018-19 –el número de repetidores se ha reducido sustancialmente–

La Tabla I resume estos resultados –representados gráficamente en la Fig.1-, a la vez que muestra que hemos trabajado con grupos de 35 y 25 estudiantes.

TABLA I. RESULTADOS DE SISTEMAS DIGITALES

	<i>Matriculados</i>	<i>No presentados</i>	<i>Suspensos</i>
2015-16	32 ^a	4 ^a	8 ^a
2016-17	23	2	4
2017-18	32	14	6
2018-19	35	1	3
2019-20	25	6 ^b	4 ^b

^a Grupo de castellano, en vez de en euskara

^b A falta de la convocatoria extraordinaria

Por otro lado, estimar el esfuerzo del alumnado, o del profesorado, no es inmediato, debido a la dispersión en todas las dimensiones: número de estudiantes –por asignatura, grupo, año-, cuántas respuestas suscitamos, dificultad de cada ejercicio, si son propuestos al principio o al final del cuatrimestre, etc. Como orden de magnitud, los primeros problemas vienen a exigir entre media y una hora –a fin de “engancharlos” al método-; a partir de los dos primeros, llegan los más ambiciosos, que, al principio demandan entre 2 y 3 h, y, hacia el final, por la experiencia adquirida, de 1 a 1,5.

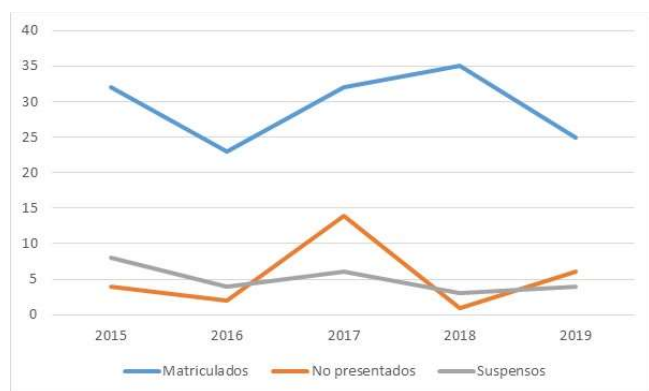


Fig. 1. Evolución del número de matriculados, no presentados y suspensos en Sistemas digitales -3º del grado de telecomunicación-.

En cuanto al profesorado, con la misma dificultad, podemos usar de estimador el número de estudiantes multiplicado por 1 h/estudiante, como promedio de quienes participan y no. A partir de estas estimaciones, se puede

concluir que la dinámica es soportable en un régimen de entre 40 y 50 estudiantes por docente y por cada 3 o 4,5 créditos.

Entonces, ¿cómo aplicar esta metodología en grupos mayores, de, por ej., 100 o más estudiantes? ¿O en una asignatura de 7,5 o 9 créditos? No queda más remedio que involucrar a varios profesores, hasta rebajar el esfuerzo al indicado en el párrafo anterior. Esta cooperación exige también, por supuesto, un acuerdo y una relación fluida dentro del equipo docente.

VI. APLICACIÓN A OTRAS ASIGNATURAS

Visto el éxito obtenido, uno de los autores ha replicado la dinámica con el grupo de euskera de Microelectrónica, de 1º del Máster de ingeniería de telecomunicación. Más allá de que hayan aprobado los 7 matriculados –era lo habitual en cursos anteriores-, por primera vez, el profesorado ha conseguido que el alumnado aprenda el funcionamiento de los transistores MOSFET, resolviendo circuitos (estructuralmente) sencillos, pero basados en MOSFET diferentes –de canal n, p, de acumulación, de depleción-, funcionando en conmutación o cargando capacidades.

Por último, también han repetido la experiencia en la Electrónica digital del grupo de euskera, de 2º del Grado de ingeniería en tecnología de telecomunicación. Esta asignatura adolece de tasas de rendimiento y de éxito bajas. Como se imparte en el 2º cuatrimestre, todavía no disponemos de resultados; en las fechas del congreso se podrían presentar los de 2019-20. En este caso, hablamos de 41 estudiantes y 7,5, por lo que el profesor que habitualmente cubre las bajas ha reforzado el equipo, haciéndose cargo de estas tutorías.

El meollo de esta asignatura radica en aprender a diseñar “sistemas complejos”, aquellos que constan de unidad de control y de proceso. Los propios conceptos han resultado tradicionalmente incompresibles para la mayor parte del alumnado. Al final aprobaban pasando de puntillas por el método de resolución y acertando sin convicción ni conocimiento con algunos apartados del ejercicio. Este curso, por el contrario, hemos logrado que, mediante estas tutorías a medida, unos pocos alumnos entiendan a fondo el procedimiento y lo expliquen a sus compañeros, por lo que la satisfacción por fin ha desplazado al desánimo en el equipo docente.

Sorprendentemente, el confinamiento derivado de la pandemia de COVID-19 ha forzado a que todo el profesorado y alumnado se centren en diseñar un “sistema complejo”, incluida las síntesis y simulación, con las características de estos ejercicios personalizados: uno distinto por pareja, citas programadas para tutelar el avance, tutorías de refuerzo. Por desgracia, en este caso particular, el sistema de evaluación no va a poder ser el de siempre, por lo que los rendimientos académicos no van a ser comparables.

REFERENCIAS

- [1] C. Lobato, and N. Guerra, “La tutoría en la educación superior en Iberoamérica: Avances y desafíos,” *Educator*, Vol. 52(2), pp. 379–398, 2016.
- [2] F. Shahnia; H. H. Yengejeh, “Various Interactive and Self-Learning Focused Tutorial Activities in the Power Electronic Course”, *IEEE Transactions on Education*, Vol. 62 (4), Nov. 2019.
- [3] B. Oni; V. Viswanathan, “Establishing learning communities among engineering freshmen through peer-group tutoring program”, 2016 *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*.
- [4] Escuela de Ingeniería de Bilbao; Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), “Grado en ingeniería en

tecnología de telecomunicación”, 2020, <https://www.ehu.eus/es/grado-ingenieria-tecnologia-de-telecomunicacion>

- [5] I. Newman, “When saying 'go read it again' won't work: Multisensory ideas for more inclusive teaching & learning”, *Nurse Education in Practice*, Vol. 34, pp. 12-16, 2019.
- [6] J. A. Sanchís-Gimeno; C. Pascual-Banos; M. Herrera; F. Martínez-Soriano, “Innovative versus conventional teaching in gross anatomy: a prospective comparative study”, *EDULEARN10: 2nd International Conference On Education And New Learning Technologies*, pp. 859-863, Barcelona, 2010.
- [7] E. Lökkila; E. Kaila; V. Karavirta; T. Salakoski; M. J. Laakso, “Redesigning Introductory Computer Science Courses To Use Tutorial-Based Learning”, *EDULEARN16: 8th International Conference On Education And New Learning Technologies*, pp. 8415-8420, Barcelona, 2016.

Experiencia para laboratorio de física general mediante el uso de un microcontrolador

Ayoze Franchy Cabrera, Alejandro Ayala Alfonso, Beatriz Rodríguez Mendoza, Silvestre Rodríguez Pérez y Oswaldo González Hernández

Dpto. de Ingeniería Industrial

Universidad de La Laguna

San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, España

aayala@ull.es, bmendoza@ull.es, srdguezp@ull.es, oghdez@ull.edu.es

Abstract— This work presents the design and implementation of a laboratory practice for first course undergraduates of Bachelors of Science, to consolidate concepts related to the subject of Physics. The laboratory experience was implemented to study free falling objects and the movement of a mobile (cart) in the horizontal plane (student or lecturer), and contains a processing device based on microcontroller ATmega2560, which manages the acquisition and treatment of the data supplied by different sensors located along a structure. In consequence, the kinetic parameters (speed and acceleration) associated to the fall of a ball and the movement of a cart can be automatically and accurately measured. Therefore, the experience can be performed in the laboratory by students who directly control all the process or by the teacher while the students observe the results.

Recursos educativos, experiencias educativas y Microcontroladores

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los microcontroladores [1] forman parte de multitud de dispositivos de nuestra vida cotidiana, ya sea en nuestro hogar (lavadoras, microondas, etc.) como fuera de él (automóviles, industria, etc.), en un sinnúmero de aplicaciones. Es importante, por tanto, que estudiantes de electrónica puedan realizar experiencias basadas en este tipo de dispositivos que les permitan aplicar sus conocimientos en el desarrollo de proyectos que consoliden su formación.

Una de las experiencias de laboratorio que más suele realizar cualquier estudiante que se inicia en el campo de las ciencias es el estudio del Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) [2] a través de la caída libre de un cuerpo (normalmente una bola) o el movimiento de un móvil (carrito) en un plano horizontal, y donde resulta difícil efectuar con precisión medidas del tiempo (t) empleado por un objeto en recorrer cierta distancia mediante el uso de un simple cronómetro, sobre todo cuando se desean efectuar varias medidas de tiempo durante su desplazamiento. En ese sentido, el presente trabajo centra su objetivo en el diseño e implementación de una experiencia práctica de laboratorio que posibilite a los alumnos estudiar el MRUA tanto en el plano vertical y horizontal.

El sistema, cuyo aspecto general se muestra en la Fig. 1, es controlado mediante un microcontrolador ATmega2560 [3] que permite el estudio, con precisión, de la variación del

espacio recorrido (e) por la bola o móvil en función del tiempo. Para ello, se ha hecho uso de una serie de diodos láser que, conjuntamente con sus correspondientes sensores, posibilitan su detección durante el desplazamiento y la obtención de datos experimentales.



a.- Disposición para el estudio del movimiento en el plano vertical



b.- Disposición para el estudio del movimiento en el plano horizontal

Figura 1. Aspecto general del dispositivo

El sistema dispone de un display de 4x20 caracteres para mostrar las medidas obtenidas (Fig. 1a, esquina inferior derecha), que el estudiante podrá utilizar para realizar diferentes estudios: variación de la aceleración de la gravedad con la masa de una bola en caída libre, manteniendo constante

su diámetro, la variación de esa misma aceleración con el diámetro de una bola, manteniendo constante su masa, entre otras, u obtener el valor de la velocidad inicial con la que la bola cae. En el plano vertical, la bola es sustituida por un carrito para la realización de las diferentes experiencias.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE MEDIDA

Además del diseño de los diferentes bloques electrónicos que conforman el sistema, se construyó una estructura para albergar los distintos sensores necesarios para detectar la bola o carrito en su desplazamiento. Su diseño y construcción se realizó en madera, siendo las partes del mismo las mostradas en la Fig. 2.

El sistema consta de dos piezas. La primera (A en la Fig. 2), tiene una longitud de 100 cm que viene determinada por la necesidad de disponer de seis puntos de medida a lo largo de la misma, separados cada uno de ellos una distancia de 10 cm. A los anteriores, se suma otro punto de medida inicial que se activa justo en el instante en el que la bola o carrito lo atraviesa, y que corresponde con $t = 0$ s (Fig. 3).



Figura 2. Partes del sistema

La separación entre las dos piezas verticales, mostradas en la Fig. 3, de 15 cm, corresponde con la necesaria para estudiar la caída libre de bolas de diferente diámetro y permitir el paso del carrito con en el que se estudia el MRUA en el plano horizontal.

La pieza A está unida a una base horizontal (pieza B de la Fig. 2), sobre la que puede pivotar. Esta última, incluye dos raíles de aluminio que permiten el desplazamiento del carrito.

Así, cuando se desea estudiar la caída libre, el sistema adopta la forma mostrada en las Figuras 1a y 2, y el cuerpo que cae, lo hace desde su parte superior (Fig. 3).

Para el estudio en el plano horizontal, la pieza A se pliega sobre la B, adoptando la forma que se muestra en la Fig. 1b. En este caso, el móvil o carrito se situaría sobre los raíles de aluminio (Fig. 4), y su desplazamiento se consigue por medio de la caída de una bola unida al mismo mediante un hilo a través de una polea (Fig. 5).



Figura 3. Situación del dispositivo de liberación de la bola/carrito y del sensor de inicio de medida del tiempo



Figura 4. Detalle del carrito sobre los raíles

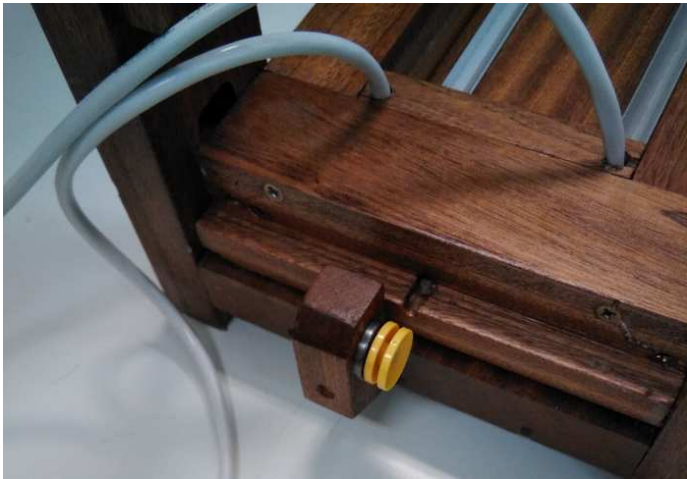


Figura 5. Detalle de la polea

III. REALIZACIÓN DE MEDIDAS

La realización de cada experiencia implica la suelta de una bola o carrito desde un punto inicial fijo y la puesta en marcha de la medida del tiempo invertido por los mismos en recorrer cada uno de los tramos en los que se ha dividido el recorrido, tanto vertical como horizontal.

Para ello, se ha recurrido a un relé que se ha situado en el extremo superior de la pieza A, que dispone de un émbolo de hierro que se puede mover y donde se fijará la bola o el carrito (Fig. 6). Con el inicio de una experiencia, el microcontrolador, a través de un transistor MOSFET, hará circular una corriente por el solenoide liberando la bola o el carrito.



Figura 6. Detalle del dispositivo de liberación de la bola

Mediante esta experiencia de laboratorio, partiendo del reposo, una bola (de la que se puede elegir su masa, material y diámetro) se deja caer libremente desde la parte superior del dispositivo de medida, o un carrito será arrastrado horizontalmente por una masa. En ambos casos, se mide el tiempo que éstos invierten en recorrer tramos de 10 cm hasta completar una distancia de 0,6 m.

Para detectar el paso de la bola por cada tramo se ha localizado en cada punto de medida, un diodo láser cuyo haz de emisión se hace incidir sobre un fototransistor (Fig. 7). El paso de la bola/carrito interrumpe dicho haz y, con ello, genera una señal que es empleada por el microcontrolador para medir el tiempo. La Fig. 8 muestra la distribución de los diodos y

fototransistores a lo largo del recorrido, donde estos últimos, proporcionan al ser iluminados tensiones de 5V que son llevadas a puertas lógicas AND, implementadas mediante un circuito integrado 74LS21, de tal de forma que se obtiene una única salida de 5V cuando todos los fototransistores se encuentran iluminados. Cada vez que la bola/carrito pasa por delante de un sensor, cortando el haz de luz, la tensión disminuye hasta cero voltios generando un flanco de bajada que será detectado por el microcontrolador que, mediante una interrupción externa, permite medir el tiempo transcurrido con una precisión de microsegundos. Es decir, al caer la bola se generará un tren de seis pulsos, sin contar el correspondiente a $t = 0$, que son utilizados por el microcontrolador para determinar el tiempo empleado por la bola en recorrer cada tramo de 10 cm.

A diferencia de los fototransistores, los diodos láser no siempre están encendidos. El microcontrolador, a través de un transistor BJT, los encenderá tres segundos antes de la suelta de la bola/carrito, apagándolos al finalizar el recorrido.

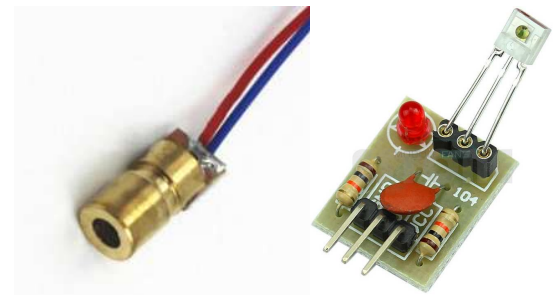


Figura 7. Diodo láser y fototransistor en su circuito PCB



Figura 8. Situación de láseres y fototransistores en la pieza A

IV. INTERFAZ DE USUARIO

Para simplificar el manejo del dispositivo por parte del alumnado, se ha diseñado una interfaz de usuario amigable y sencilla. Dicha interfaz se limita al uso de dos botones y el

display comentado con anterioridad (Fig. 9). Una vez enganchada la bola o el carrito al relé, se debe pulsar el botón rojo. Esta acción produce el encendido de los diodos láser e, instantes después, la liberación del móvil que irá interceptando los siete haces de luz. Cuando dicho proceso finaliza, el display muestra los valores del tiempo invertido en recorrer la distancia de 0,6 m, medida desde $t = 0$ en intervalos de 10 cm. Los datos del tiempo, que se han de leer de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo (Fig. 9a), serán utilizados por los alumnos para determinar el valor de la velocidad inicial (V_{ini}) y la aceleración (g), y compararlos con los calculados por el dispositivo. Estos últimos son mostrados al pulsar el botón de color negro (Fig. 9b).



a.- Tiempos medidos experimentalmente



b.- Aceleración y velocidad inicial

Figura 9. Interfaz de usuario

Si se pulsa nuevamente el botón rojo, el ciclo anteriormente descrito se repetiría para obtener los valores correspondientes a una nueva experiencia.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El sistema implementado permite realizar medidas teniendo en cuenta cuatro variables: el tiempo (t), la masa de la bola (m), el diámetro de la bola (d) y el espacio recorrido

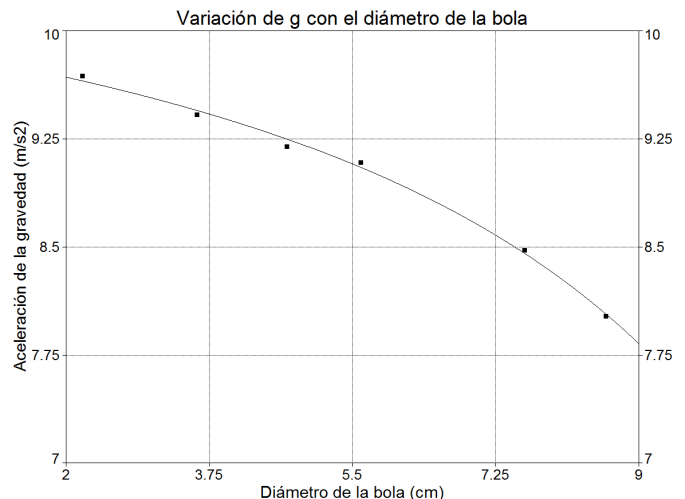
(e). Para ello, se dispone de dos conjuntos de bolas con diferentes valores de masa y diámetro. El primero de ellos, está formado por siete bolas, todas de 5,2 cm de diámetro, pero con diferentes masas: 11, 19, 22, 29, 32, 36 y 41 gramos. El segundo, lo componen seis bolas de igual masa (6,4 g) y diámetros de 2,2 cm, 3,6 cm, 4,7 cm, 5,6 cm, 7,6 cm y 8,6 cm, respectivamente.

A continuación se relacionan algunas de las experiencias prácticas que se pueden realizar con ayuda del sistema:

1.- En general, se puede calcular el tiempo que una bola de masa m emplea en recorrer una distancia de 60 cm, medido a intervalos de 10 cm, en caída libre. Con los datos experimentales obtenidos, es posible realizar las representaciones gráficas del espacio recorrido y la velocidad frente al tiempo y determinar el valor de g . La Fig. 9a muestra las medidas de tiempo obtenidas durante una caída libre, y la Fig. 9b los valores de la velocidad inicial (al paso de la bola por el punto de $t=0$) y la aceleración de la gravedad (g) obtenidos con los datos anteriores.

2.- Determinar la influencia del rozamiento con el aire en el valor de la aceleración de la gravedad para una bola que se desplaza en caída libre, estudiando la variación de g con el diámetro y la masa de la bola.

En la Fig. 10, se representa la variación de la gravedad (g) en función del diámetro (d) de la bola, manteniendo constante la masa (m) de la misma (6,4 g).

Figura 10. Variación de la aceleración de caída de un cuerpo en función de d , para m constante (6,4 g)

En la Fig. 11, se muestra la variación de la gravedad (g) con la masa m de la bola, sin modificar su diámetro d (5,2 cm).

Las gráficas mostradas en las Figuras 10 y 11 resultan interesantes, ya que si bien la aceleración de la gravedad es independiente de la masa, en la primera se observa que ésta varía aún cuando m no lo hace, mientras que en la segunda aumenta al hacerlo m . Dichos resultados posibilitan la discusión por parte de los estudiantes de su posible causa, no siendo otra que el rozamiento de las bolas con el aire.

Respecto al MRUA en el plano horizontal, en las experiencias se ha hecho uso de un carrito (Fig. 12) al que se le proporciona una aceleración mediante la caída de una masa unida al mismo mediante un hilo de nailon a través de una polea (Fig. 5). La masa cae verticalmente, mientras el carrito se mueve horizontalmente sobre los raíles de aluminio (Fig. 4). Para desplazar el carrito se dispone de masas de 225, 285 y 365 gramos.

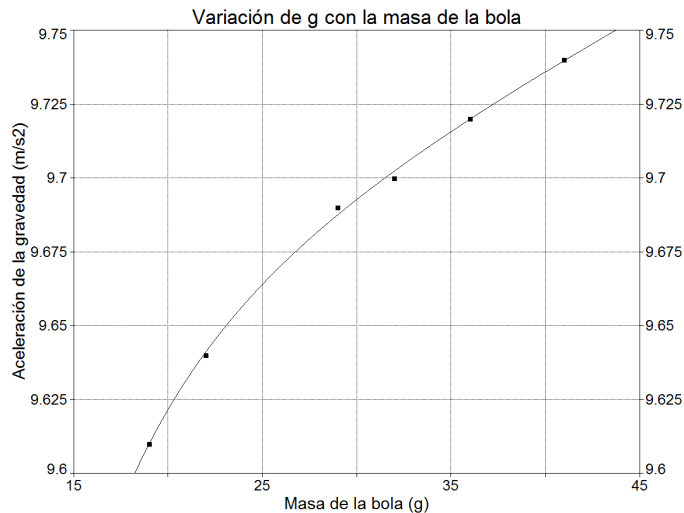


Figura 11. Variación de la aceleración de caída de un cuerpo (g , m/s^2) en función de m (g), para d constante (5,2 cm)

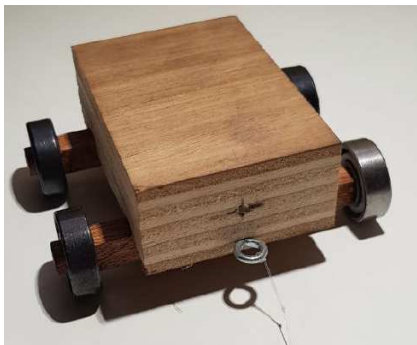


Figura 12. Carrito para el estudio del MRUA en el plano horizontal

En este caso, al igual que en la caída libre de un cuerpo, el alumnado pueden realizar diferentes representaciones gráficas con las medidas aportadas por el sistema. Así, podrán observar la variación del espacio recorrido por el carrito con el tiempo y la influencia del valor de la masa empleada para hacerlo rodar (Fig. 13).

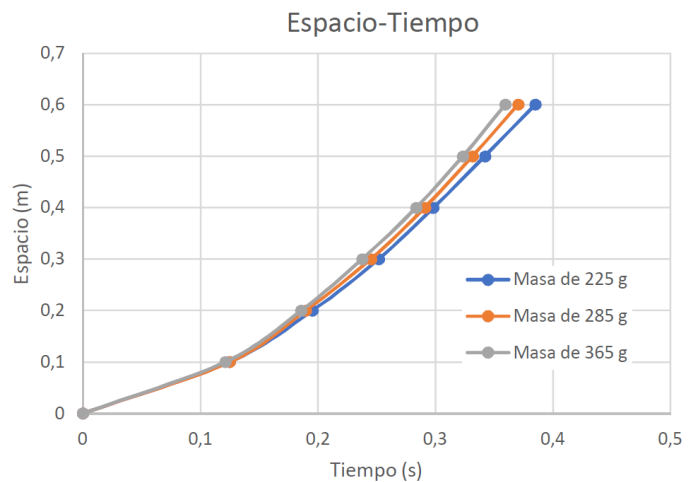


Figura 13. Variación con el tiempo del espacio recorrido por el carrito

Partiendo de los datos anteriores, el estudiante también tiene la posibilidad de representar gráficamente la variación de la velocidad con la que se desplaza el carrito en función del tiempo (Fig. 14) y observar la influencia que, sobre dicha representación, ejerce la masa que hace que éste se mueva sobre el raíl de aluminio (Fig. 15).

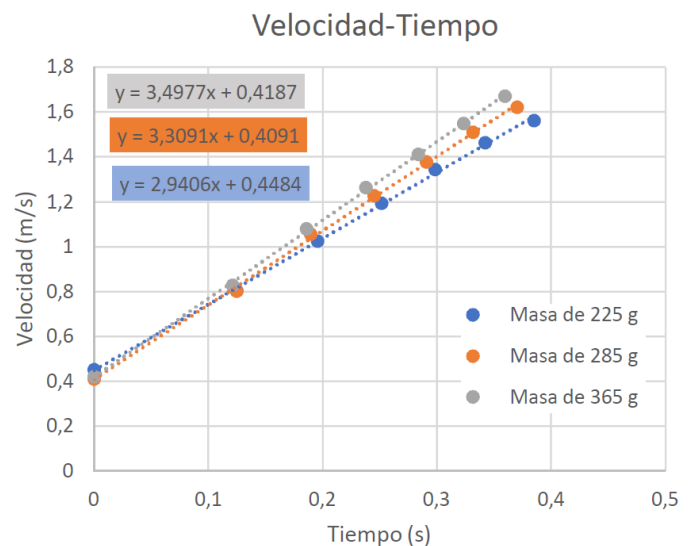


Figura 14. Variación de la velocidad del carrito con el tiempo

Variación de la aceleración con la masa de arrastre del carrito

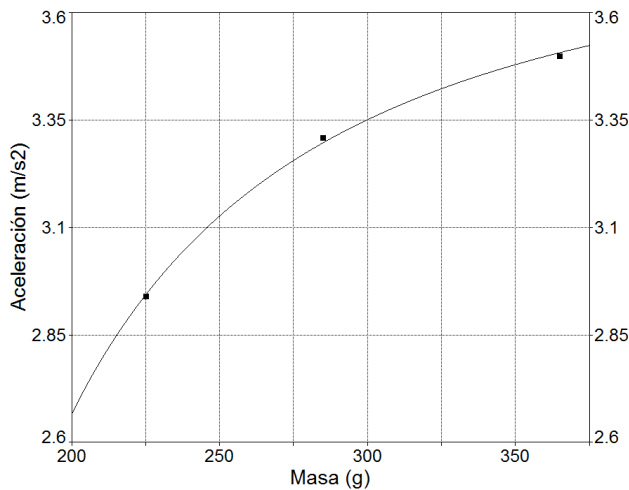


Figura 15. Variación de la aceleración del carrito con la masa que lo arrastra

VI. CONCLUSIONES

El sistema implementado constituye una propuesta de carácter didáctico en un doble ámbito, ya que puede ser utilizado en centros de enseñanza media o en un laboratorio de física general de los primeros cursos de universidad para el estudio del MRUA.

Cabe destacar su gran versatilidad a la hora de efectuar diferentes experiencias pues, en pocos segundos, es posible pasar de estudiar este movimiento en el plano vertical al horizontal y viceversa, obteniendo múltiples representaciones gráficas que posibilitan al estudiante una mejor comprensión de la física del MRUA, conjuntamente a la representación e interpretación de las mismas para obtener conclusiones experimentales.

Por otro lado, desde el punto de vista del alumnado de electrónica, podrían comprobar como los conocimientos de carácter electrónico que poseen pueden ser aunados para conformar un dispositivo de utilidad práctica para un laboratorio de física general. En ese sentido, éstos pueden:

- Diseñar e implementar un circuito electrónico.
- Trabajar con diferentes instrumentos de laboratorio.
- Aprender a programar un microcontrolador.
- Diseñar un interfaz de usuario.

REFERENCIAS

- [1] J. Mª Angulo y otros, "Microcontroladores PIC", Editorial Paraninfo, Madrid, 1997.
- [2] M. Alonso and E. J. Finn "Física, Volumen 1: Mecánica", Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1971.
- [3] Último acceso: 9/03/2020. ATmega2560 data sheet, <https://www.arduino.cc/>

Prototipo de cámara IMAX+ como recurso docente para calibración y tratamiento de imágenes en FPGA

Eduardo Magdaleno Castelló
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna
La Laguna, España
emagcas@ull.edu.es

Manuel Rodríguez Valido
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna
La Laguna, España
mrvalido@ull.edu.es

David Hernández Expósito
Grupo de Física Solar
Instituto de Astrofísica de Canarias
La Laguna, España
dhernane@ull.edu.es

Basilio Ruiz Cobo
Grupo de Física Solar
Instituto de Astrofísica de Canarias
La Laguna, España
brc@iac.es

María Balaguer
Grupo de Física Solar
Instituto de Astrofísica de Andalucía
Granada, España
balaguer@iaa.es

David Orozco Suárez
Grupo de Física Solar
Instituto de Astrofísica de Andalucía
Granada, España
orozco@iaa.es

Antonio López Jiménez
Grupo de Física Solar
Instituto de Astrofísica de Andalucía
Granada, España
antonio@iaa.es

Abstract—En este trabajo se presenta un prototipo de cámara que se ha empleado en un Proyecto de investigación y se pretende usar como recurso docente. Las partes más relevantes del instrumento son un sensor de imagen y una FPGA Artix-7. El desarrollo del firmware de la cámara en la FPGA abarca numerosos ítems en la metodología de diseño basada en dicha tecnología. Así, la posibilidad de empleo de este prototipo como recurso docente constituye una oportunidad de que los alumnos aprendan tecnología FPGA con un dispositivo real y actual desarrollado para una misión astrofísica puntera.

Keywords—FPGA, firmware, VHDL, Verilog, calibración, docencia en master, Vivado, TFM

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías y metodologías de diseño basadas en FPGAs constituyen una avanzada y poderosa herramienta para la realización de prototipos de circuitos digitales complejos. Por este motivo, en la Universidad de La Laguna se lleva apostando muchos años el empleo del binomio FPGA-VHDL como parte de la docencia práctica de asignaturas relacionadas con la electrónica digital tanto básicas impartidas en los primeros cursos de los Grados de las Ingenierías Informática e Industrial, como en asignaturas de un nivel más avanzado dentro del Máster de Ingeniería Industrial en la actualidad o, en el pasado, en ingenierías superiores ya extinguidas (Ingeniería Superior en Electrónica, Ingeniería Superior en Automática y Electrónica Industrial, por ejemplo).

El aprendizaje de las nociones básicas de la metodología de diseño para la elaboración de circuitos digitales sencillos, tales como contadores, máquinas de estado, decodificadores, multiplexores, etcétera, suele ser rápido, ya que los entornos de desarrollo incluyen asistentes que automatizan la mayor parte de las fases de diseño. La docencia permite cierta flexibilidad en el grado de detalle en que se diseña este tipo de circuitos básicos, realizados empleando casi exclusivamente la lógica genérica de las FPGAs.

Además de la lógica genérica, los sobradamente conocidos slices de Xilinx, dentro de la FPGAs existen componentes específicos que además se van modificando a medida que los fabricantes van sacando al mercado nuevas series de sus dispositivos. Tales componentes específicos abarcan dispositivos de almacenaje, administradores de reloj, circuitos aritméticos, de comunicaciones, análisis lógico (ILA), conversores para medidas de tensiones y temperaturas (XADC), etcétera. El aprendizaje del funcionamiento y operación de estos componentes avanzados puede ser complicado, pero puede facilitarse empleando prototipos en los que ya se empleen y que los alumnos puedan manipular.

En este trabajo se presenta un prototipo de cámara desarrollado en un proyecto de investigación para la docencia de asignaturas avanzadas relacionadas con las tecnologías basadas en FPGA, tales como la asignatura Diseño de Sistemas Electrónicos con FPGA del Máster de Ingeniería Industrial o Trabajos Fin de Máster/Grado. El diseño del prototipo abarca buena parte de los componentes arriba indicados y da mucho juego a la hora de realizar modificaciones y mejoras para la implementación de Trabajos Fin de Máster/Grado. En este caso nos centraremos en la calibración de los canales de transmisión de datos y el tratamiento de imágenes provenientes del sensor al que está conectado la FPGA del prototipo.

El resto del presente trabajo está organizado como sigue: en la segunda sección se describe brevemente el proyecto de investigación que dio lugar al prototipo que se dispone, así como una descripción del mismo. En la sección tercera se detalla el firmware implementado en la FPGA haciendo énfasis en la calibración de canales y el tratamiento de imágenes. En la cuarta sección se ilustra el potencial que tiene el prototipo como recurso docente y se describe algunas propuestas de TFM's y/o ejercicios prácticos a realizar en las asignaturas del Máster. En el último apartado se describe el estado actual del empleo del prototipo orientado a docencia y las actuaciones futuras al respecto.

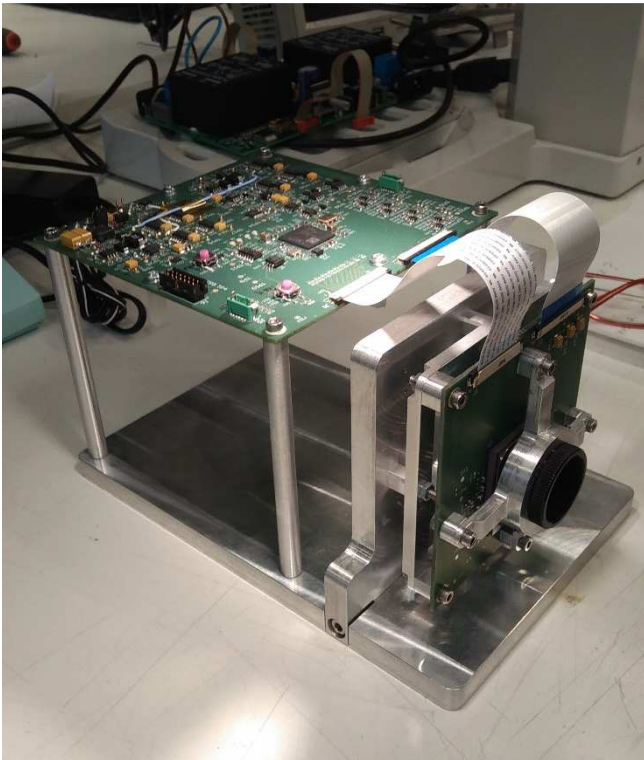


Fig. 1. Fotografía del primer prototipo de la cámara del instrumento IMAx+ tomada en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería y Tecnología.

II. APROXIMACIÓN AL PROYECTO

El prototipo disponible ha sido implementado en el marco de la misión Sunrise III, que será la tercera en observar el Sol desde la estratosfera lanzando un telescopio en un globo desde Noruega [1]. En su viaje a través del círculo polar ártico, se podrá observar el Sol de manera ininterrumpida durante unos días.

El mayor cambio de Sunrise III respecto a las misiones anteriores es el conjunto de instrumentos, ya que el telescopio y la góndola serán similares [2].

En concreto, se está construyendo un nuevo magnetógrafo, denominado IMAx+, que proporciona imágenes del Sol de 50×50 arcmin² en varias bandas estrechas (~ 8 nm de anchura), de la que se puede extraer la información cuatro estados de polarización [2-3]. En este instrumento, respecto al antiguo IMAx, se ha rediseñado completamente la electrónica, empleando componentes tecnológicos actuales que redundarán también en un sistema mucho más pequeño, dejando más espacio para los instrumentos a bordo.

En lo que respecta a la cámara del sensor IMAx+, se ha desarrollado un hardware que incluye dos PCBs, el primero con el sensor CMOS, y el segundo, con una FPGA Artix-7 XC7A50T-2CSG325C encargada de controlar el sensor y de comunicarse con la DPU del instrumento a través de una interfaz CoaXPress [4-5]. En la figura 1 se muestra una foto del primer prototipo implementado de la cámara de IMAx+. En posición vertical está situada la PCB del sensor y en posición horizontal, la de la FPGA. Este es el prototipo al que tendrán acceso los alumnos.

El vuelo de la misión Sunrise 3 está previsto para el verano septentrional de 2021.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DE CÁMARA

En la fase de diseño del prototipo se optó por separar en dos tarjetas los elementos más relevantes. Por un lado, el sensor GSENSE400 de GPIXEL y, por otro lado, la FPGA Artix-7 XC7A50T-2CSG325C que configura y se comunica con el sensor, presentando también una interfaz CoaXPress para la comunicación con el host o DPU del sistema [4]. Estos son los dos componentes principales del prototipo, cuyas características se detallan a continuación.

A. Características principales del sensor de imagen

El sensor que se ha escogido para incorporarlo al sistema de detección tiene una serie de características que cumplen con los requisitos exigidos por las comisiones científicas del proyecto.

El sensor GSENSE400 es un sensor de imagen CMOS de resolución de 4 megapíxeles (2048x2048) con píxeles de fotodiodo de $11 \mu\text{m}$. El sensor presenta un ruido de lectura extremadamente bajo de 1.47×10^{-6} [6]. Tiene dos modos de operación, el modo STD en 48 fotogramas por segundo o el modo HDR que está optimizado para aplicaciones de alto rango dinámico con 24 fotogramas por segundo. La característica de alta sensibilidad, bajo nivel de ruido de lectura y alto rango dinámico lo hace perfecto para una variedad de aplicaciones científicas, como la que nos ocupa.

El sensor dispone de un conversor AD de 12 bits, un sensor de temperatura, un PLL y una interfaz SPI para labores de control. Para configurar el detector y ponerlo en marcha adecuadamente, hay que escribir en unos bancos de memoria del mismo a través de esta interfaz.

Para mandar la imagen a la FPGA, el sensor dispone de 8 canales diferenciales que proporcionan los datos de los píxeles de 12 bits en formato serie a 300MHz. Las filas del sensor CMOS se leen o se resetean en ranuras temporales 513 ciclos de reloj de píxel (25MHz) a través de unas señales de control que debe enviar la FPGA Artix-7. Estos canales tienen que ser calibrados para que los datos puedan ser interpretados correctamente. Esta tarea la realiza la FPGA. Además, según sea su modo de operación STD o HDR, el formato de los datos de lectura es distinto, así que el tratamiento de las imágenes a realizar por la FPGA deberá contemplar el modo configurado en el sensor.

B. El firmware de la cámara

El desarrollo del firmware de este prototipo abarca buena parte de los recursos tanto hardware como de herramientas de desarrollo de las tecnologías FPGA: empleo de los lenguajes VHDL y Verilog, entorno de desarrollo Vivado, uso de IPs proporcionados por Xilinx e IPs comerciales (comunicación CoaXPress), empleo del soft-core MicroBlaze y SDK y C para su programación, uso de ILA (Integrated Logic Analyzer) para depuración, XADC para la medida de temperaturas y voltajes en la propia FPGA, máquinas de estado, gestión de múltiples relojes, conocimiento y empleo de componentes dedicados de la familia 7 de Xilinx (IDDR, IDELAY2, ICONTROL, IDELAYCTRL, etc). El amplio espectro de herramientas y componentes hace que valga la pena explorar las posibilidades de empleo en la docencia de este prototipo para diseño avanzado.

El firmware del prototipo está implementado en una FPGA Artix-7 XC7A50T-2CSG325C como se ha comentado anteriormente y consta de tres módulos según se aprecia en la figura 2 [7].

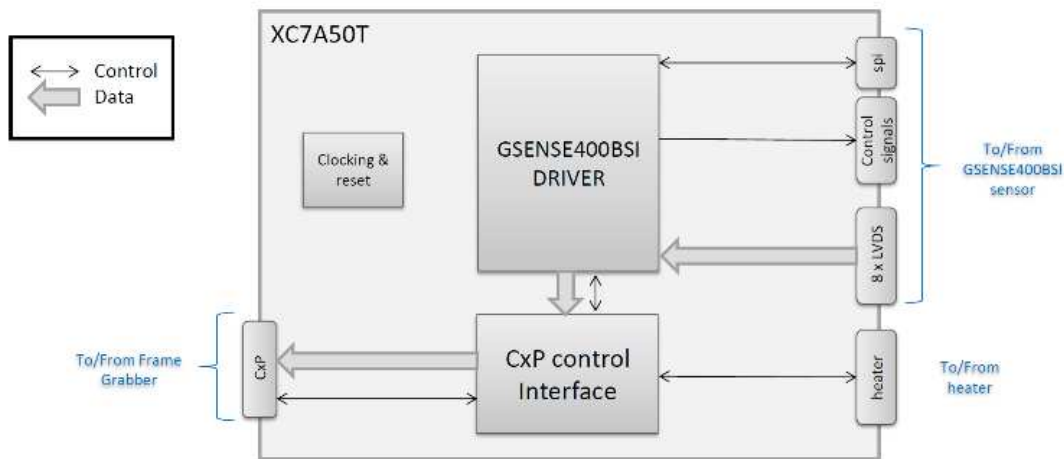


Fig. 2. Diagrama de bloques del firmware implementado en la FPGA Artix-7.

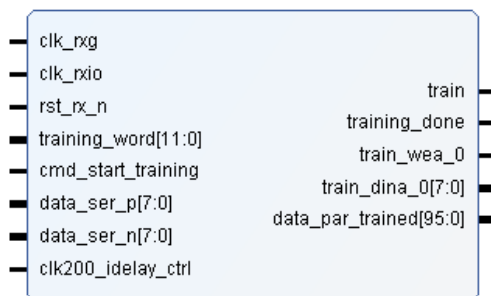


Fig. 3. Interfaz del módulo training.v

TABLE I. DESCRIPCIÓN DE LOS PUERTOS DEL MÓDULO TRAINING.V

Nombre	Descripción
clk_rxg	reloj 25 MHz
clk_rxio	reloj 150 MHz para muestrear canales
rst_rx_n	reset activo a nivel bajo
training_word	palabra usada para calibrar por comparación
cmd_start_training	comando de inicio de calibración
train	conectado directamente al sensor
data_ser_p/n	8 canales LVDS provenientes del sensor
data_par_trained	Dato paralelizado y calibrado (8 canales)
clk200_idelay_ctrl	reloj 200 MHz de referencia
train_dina_0	datos de información de calibración
train_wea_0	habilitación de escritura de datos de calibración

El módulo de clocking/reset genera todos los relojes necesarios para el funcionamiento del firmware, así como un reset global. Por otra parte, se ha implementado, con un IP core comercial, una interfaz CoaxPress con la que se comunica con el host o DPU (tanto datos de imagen como valores de configuración y otros comandos). Además del IP comercial, este bloque contiene un soft-core MicroBlaze, que gestiona propiamente la comunicación con el host y configura el driver según las órdenes que reciba del mismo. Además, también gestiona un heater que actúa como calefactor del sensor.

El tercer módulo implementado es el driver del sensor propiamente dicho. Como puede apreciarse, el driver envía, a través de un bus SPI, los valores de configuración del sensor (que a su vez han sido enviados por el host a través de la interfaz CoaxPress), que también pueden leerse; y también envía las señales de control para gestionar las órdenes de lectura y reset de cada una de las filas de las imágenes por el sensor. El driver recibe los datos a través de los 8 canales diferenciales, a 300MHz (8 x LVDS). Este módulo será el será propuesto al alumnado para que realicen modificaciones pertinentes para la realización de la calibración y el tratamiento de las imágenes obtenidas.

IV. CALIBRACIÓN Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES

El módulo de recepción del driver del sensor consta de dos módulos principales. El módulo que se ha denominado training, que recibe los datos de los 8 canales diferenciales; y el módulo denominado swapping, que realiza el tratamiento de los canales para conformar una imagen ordenada.

A. Calibración de los canales

El módulo de training, descrito en verilog, tiene la interfaz que aparece en la figura 3. En la Tabla I se muestra también una breve descripción de cada puerto del módulo.

Este submódulo alinea/calibra los datos provenientes del sensor GPIXEL. Hay implementados 8 conversores de serie a paralelo de 1 a 12 bits. Cada deserializador emplea un módulo IDELAY2 para controlar retardos múltiples de 78ps, un módulo IDDR para muestrear el canal a flancos de subida y bajada (clk_rxio) y un registro de desplazamiento variable (RAM-based Shift Register). Todos los canales se controlan con un módulo ICONTROL a 200 MHz (clk200_idelay_ctrl).

La calibración se realiza a 3 niveles: calibración de bit, de palabra (dato) y de canal (figura 4). Esta calibración se realiza de manera secuencial para cada canal, configurando el deserializador y escribiendo los parámetros de calibración en una FIFO (train_wea_0 y train_dina_0).

El funcionamiento de la máquina de estados es como sigue: el estado inicial es s_IDLE. Cuando se recibe una señal de inicio de calibración (cmd_start_training), pone el sensor en modo entrenamiento (train) que hace que mande continua-

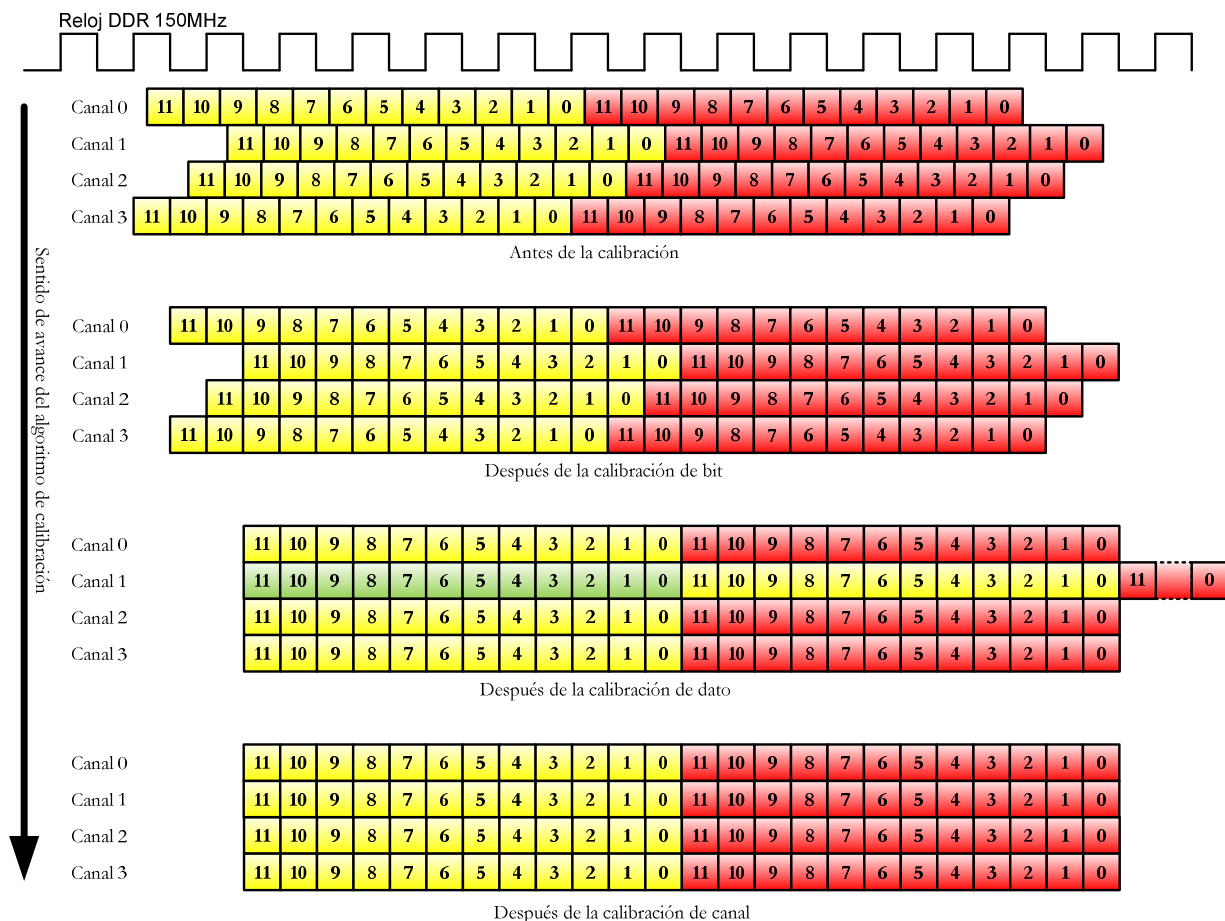


Fig. 4. Proceso de calibración para 4 canales.

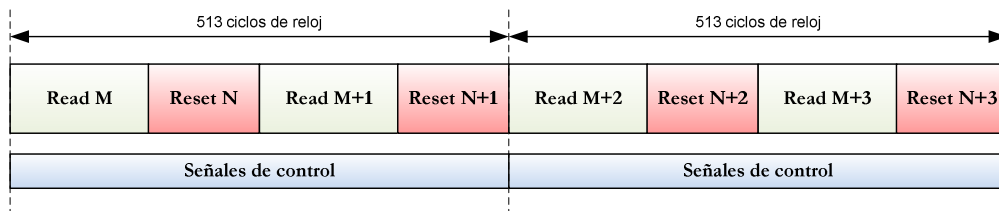


Fig. 5. Temporización de la lectura y reseteo de las filas de la imagen del sensor en modo STD

mente a la palabra de entrenamiento. En la calibración de bit, se van introduciendo retardos hasta que se produzca un cambio de bit, de tal manera que queda determinado el muestreo en el centro del bit y no en un flanco [8]. En la calibración de dato, se va rotando la palabra que se deserializa hasta que coincida con la palabra de entrenamiento. Por último, se van introduciendo retardos en la palabra de entrenamiento a través un registro de desplazamiento variable (RAM-based Shift Register), para que los datos de todos los canales estén sincronizados. Si no se ha calibrado algún canal correctamente, se repite la calibración.

B. Tratamiento de las imágenes

En el caso implementado, el tratamiento de la imagen consiste en ordenar los píxeles provenientes de los 8 canales diferenciales del sensor en modo STD. Las filas del sensor CMOS se leen o se resetean en ranuras temporales 513 ciclos de reloj de píxel (25MHz) a través de unas señales de control que debe enviar la FPGA Artix-7.

En el modo HDR, una ranura temporal consta de 2 fases: fase de lectura de una fila y fase de reset de una fila. Con este modo se obtiene, para cada dirección, dos lecturas, una en alta ganancia y otro en baja ganancia. Este modo no está configurado.

En el modo STD, una ranura temporal consta de 4 fases: fase de lectura de una fila, fase de reset de una fila, y fases de lectura y reset de las filas siguientes, respectivamente. En la figura 5 se muestra cómo se leen las filas M y siguientes y se resetean las filas N y siguientes en dos ranuras temporales [6].

Este modo de reseteo y lectura se realiza de manera simultánea para los 8 canales, que se reparten las 2048 filas del sensor, según se aprecia en la figura 5, donde en la que se hace la distinción entre filas pares e impares, de tal manera que, en cada ranura temporal una fila para y otra impar son leídas/reseteadas en una estructura de pipeline. Puede apreciarse que, desde la orden de lectura hasta que el sensor

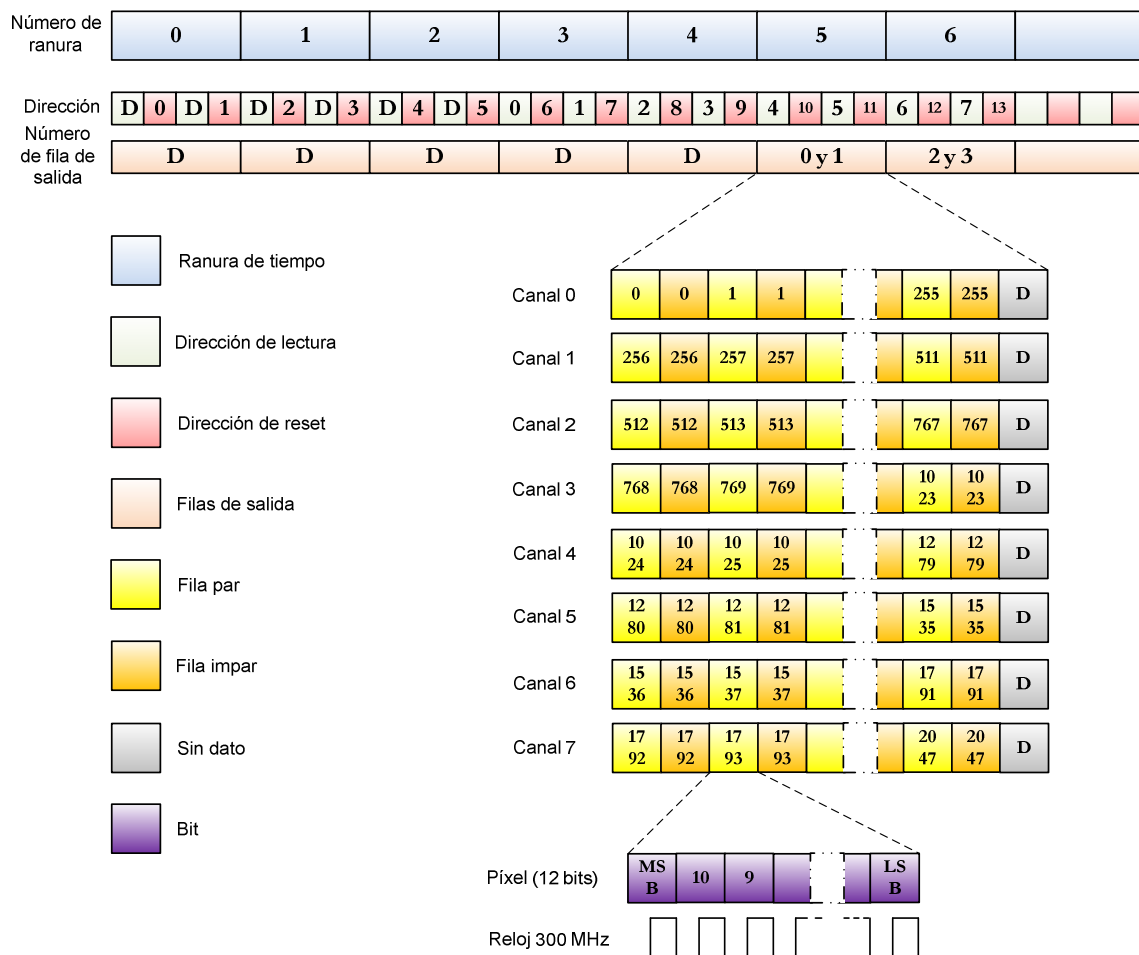


Fig. 6. Formato de salida de los datos con el sensor en modo STD (estándar).

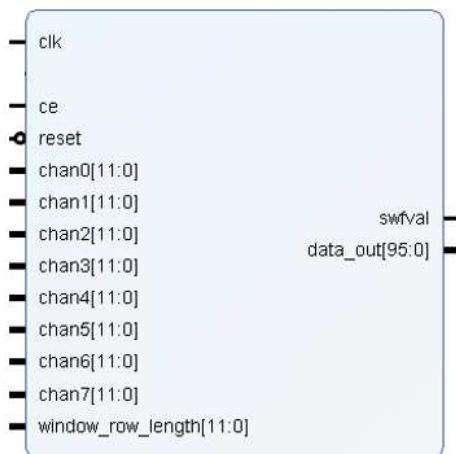


Fig. 7. Interfaz del módulo training.v

proporciona los datos, pasa el tiempo correspondiente a dos ranuras, debido a la estructura pipeline de salida del sensor.

Cada fila tiene 2048 píxeles. Entonces, y según se aprecia en la figura 6, cada dos filas simultáneamente (par e impar), el sensor suministra los datos así: el canal cero, los píxeles del 0 al 255 de esas dos filas; el canal 1, los píxeles del 256 al 511, etcétera.

TABLE II. DESCRIPCIÓN DE LOS PUERTOS DEL MÓDULO TRAINING.V

Nombre	Descripción
clk	reloj 25 MHz
reset	reset activo a nivel bajo
window_row_length	número de filas de la imagen
ce	habilitación del módulo de ordenamiento
cmd_start_training	comando de inicio de calibración
chan0 a chan5	entrada de datos suministrada por cada canal
swfval	salida de imagen ordenada válida
data_out	salida de imagen ordenada

Así pues, el módulo de ordenamiento de los canales, descrito en VHDL y de nombre swapping, tiene que ordenar los datos en dos niveles: por paridad de filas y por canales [9]. Este módulo tiene la interfaz que aparece en la figura 7.

En la Tabla II se muestra también una breve descripción de cada puerto del módulo. Básicamente, este módulo consta de 16 FIFOs implementadas usando la IP FIFO Generator 13.2 de Vivado. Los ciclos de escritura y lectura de las FIFO las controla una máquina de estado constituida por un contador que genera las señales para las FIFOs según el formato STD de salida del sensor (figura 6).

Cabe destacar que la salida es de 96 bits por la configuración de la comunicación con el host a través de

CoaxPress. Como cada píxel es de 12 bits, el módulo suministra los datos de la imagen de 8 en 8 píxeles.

V. PROTOTIPO COMO RECURSO DOCENTE

Hay dos vertientes en las que el prototipo puede emplearse como recurso docente.

En el primero, se recurre a él para entender el uso de las herramientas y la arquitectura de las FPGAs y está más orientada a prácticas de laboratorio de asignaturas avanzadas de tecnología digital en Máster. Algunas de las tareas o ítems podrían ser:

- Manejo general de la herramienta Vivado: explorar jerarquías, realizar simulaciones, modificación de restricciones en el fichero XDC
- Manipulación y creación de IP cores: modificar el tamaño de las FIFO con el FIFO Generator y otros cores
- Análisis y debug de señales implementados con el uso del analizador lógico integrado ILA (integrated logic analyzer)
- Cuestiones avanzadas de los lenguajes VHDL y verilog. Instanciación de componentes específicos de la familia 7 de Xilinx, modificación de los genéricos de los mismos, implementación de máquinas de estados, generación de instancias múltiples, etcétera.
- Relacionada con la anterior, estudio de la arquitectura de las FPGAs de la familia 7: lógica genérica, módulos IDDR, ICONTROL, IDELAY, bloques de entrada/salida, etcétera

Los conocimientos previos de los alumnos que harían uso de la cámara como recurso docente serían:

- Conocimientos básicos de electrónica digital y diseño digital
- Nociones básicas de arquitectura de FPGA
- Iniciación en la metodología de diseño basada en FPGAs
- Conocimientos básicos en VHDL o verilog
- Nociones básicas en el manejo de un entorno de desarrollo basado en FPGA, por ejemplo, ISE o Vivado.

A continuación, se muestra una propuesta de programación de sesiones prácticas basadas en el prototipo:

- Práctica 1: montaje del proyecto en Vivado 2017.3
- Práctica 2: análisis jerárquico y modular del proyecto. Identificación de componentes. Simulación funcional.
- Práctica 3: síntesis del proyecto y análisis del código ejecutado en MicroBlaze con la herramienta SDK 2017.3. Identificación de parámetros y funciones básicas.
- Práctica 4: implementación del firmware en la FPGA. Análisis de la calibración de canales y captura de imágenes. Análisis y debug de las principales señales y procesos con el analizador lógico integrado ILA.

- Práctica 5: modificaciones del firmware. RoI (Region of Interest), tiempo de exposición, calibrado, canales, etcétera.

En la segunda vertiente, el prototipo se orienta más a desarrollos para Trabajos Fin de Grado/Máster, con mejoras del firmware, aumento de la versatilidad del prototipo con más funcionalidades o la inclusión en el módulo de tratamiento de imagen de filtros u otras operaciones. A continuación, se enumeran algunas de estas tareas:

- En el entrenamiento, se deserializa para datos de 12 bits. Aumentar la versatilidad para parametrizar este dato y permitir deserializaciones de 8, 10, 14 y 16 bits, por ejemplo.
- La calibración se realiza con un nivel de abstracción bajo, empleando explícitamente componentes tales como IDDR, ICONTROL, IDELAY y una máquina de estado compleja con numerosos estados. Otro proyecto consiste en la sustitución de este módulo por el IP ISERDES que provee Xilinx para realizar la deserialización de datos de una manera más abstracta.
- El módulo de swapping sólo contempla el formato de datos STD descrito en el apartado IV.B. En una primera aproximación, sustituir este módulo por uno equivalente para su uso en el ordenamiento de datos cuando el sensor trabaja en el modo HDR de alto rango dinámico. Posteriormente, diseñar un módulo versátil que contemple la ordenación de canales para ambos modos de funcionamiento.
- Una vez ordenada la imagen, se puede incluir cualquier tratamiento a la misma. En el catálogo de IPs de Vivado podemos encontrar filtros FIR para suavizar o detectar bordes, transformadas DFT y FFT, filtrado de ruido, correctores de perspectiva o de efectos de lentes. También se puede implementar alguna función específica no incluida en los IP usando lenguaje de descripción de hardware.
- Detección de objetos en la imagen.
- Posibilidad de selección de un subconjunto de interés de la imagen o inclusión de texto o marcadores.

VI. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En el curso académico actual se ha incluido como propuesta de TFM el ordenamiento de canales para el sensor operando en modo HDR. El próximo curso la oferta se aumentará con algunos TFG/TFM que incluyan algunas de las mejoras mencionadas en el apartado anterior.

A partir del próximo curso está prevista la inclusión del prototipo para la docencia de la asignatura del Máster de Ingeniería Industrial denominada Diseño de Sistemas Electrónicos en FPGA, que es obligatoria de 6 créditos ECTS dentro del itinerario de electrónica. El alumnado de la asignatura se mueve entre 2 y 3, lo que lo hace ideal para el empleo de este tipo de recursos.

Los profesores adscritos al proyecto de la cámara imparten además docencia en las asignaturas Sistemas Electrónicos Digitales, de Primero del Grado de Ingeniería Informática, y Electrónica Digital, de Tercero del Grado de Ingeniería Industrial. En estas asignaturas básicas se imparten contenidos de la metodología de diseño basada en tecnologías FPGA y

VHDL a nivel introductorio. Ambas cuentan con un número elevado de alumnos (250 y 100 respectivamente en el actual curso académico), por lo que se ha descartado el uso exhaustivo del prototipo. Sin embargo, se está valorando la realización de seminarios en los que se presente el prototipo y se realice una demostración, ya sea en clase teórica o en pequeños grupos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado mediante el Proyecto RTI2018-096886-B-C53 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCES

- [1] S. K. Solanki et al., "The Second Flight of the Sunrise Balloon-Borne Solar Orbiter: Overview of Instruments Updates, the Flight, the Data, and First Results", *Astrophysical Journal Supplement Series*, volumen 229, número 1, 2017.
- [2] B. Ruiz, Física solar espacial: PHI para Solar Orbiter e IMaX y SP para Sunrise. Memoria científico-técnica de proyectos coordinados. Convocatoria 2016 de Proyectos de Excelencia y Proyecto Retos. Dirección General de Investigación Científica y Técnica. 2016.
- [3] J.C. del Toro Iniesta, V. Martínez Pillet, "Assessing the behavior of modern magnetographs and spectropolarimeters", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol 201 (2), 9pp., 2012.
- [4] EASii IC. CoaxPress Device IP Specification. IC/130206. Hard Soft Interface Document.
- [5] Xilinx, 7 Series FPGAs Data Sheet: Overview. Product Specification. DS180 (v2.5). Xilinx. 2017. Disponible en: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds180_7Series_Overview.pdf (accedido el 12 de marzo de 2020).
- [6] Gpixel, 4 Megapixels Scientific CMOS Image Sensor. Datasheet V1.5
- [7] M. Rodríguez et al., "FPGA firmware description for IMaX+/SCIP", *Avances en Arquitectura y Tecnología de Computadores. Actas de las Jornadas Sarteco 2019*, pp. 614-618, Cáceres, 2019.
- [8] N. Sawyer, "LVDS Source synchronous 7:1 serialization and deserialization using clock multiplication", *Application Note: 7 Series FPGAs, XAPP585 (v1.1.2)*, 2018. Disponible en https://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp585-lvds-source-synch-serdes-clock-multiplication.pdf (accedido en 12 de marzo de 2020).
- [9] E. Magdaleno et al., "Ordenamiento de canales del sensor GSENSE400 en modo STD para el instrumento IMaX+", *Avances en Arquitectura y Tecnología de Computadores. Actas de las Jornadas Sarteco 2019*, pp. 626-631, Cáceres, 2019.



Session TS-2A

Trends in Education II

Aprendizaje basado en proyectos en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, Videoconsola portátil

Jesús Manuel Hernández-Mangas
Dpto. Electricidad y Electrónica
Universidad de Valladolid
Valladolid, Spain
jesus.hernandez.mangas@tel.uva.es

Jesús Arias Álvarez
Dpto. Electricidad y Electrónica
Universidad de Valladolid
Valladolid, Spain
jesari@tel.uva.es

Resumen—Empleando el aprendizaje basado en proyectos, en la asignatura Ingeniería de Sistemas Electrónicos, desarrollamos el proceso de ingeniería desde la idea hasta la implementación final de una videoconsola portátil compatible con el ordenador Sinclair ZX Spectrum de los años 1980.

Index Terms—Aprendizaje basado en proyectos, Ingeniería de sistemas electrónicos, Microcontroladores.

I. INTRODUCCIÓN

En la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación se imparten dos titulaciones relacionadas con las telecomunicaciones, una de tipo general con acceso directo al máster y otra más específica con diferentes especialidades. En esta segunda, Ingeniería de Tecnologías Específicas de la Telecomunicación, tenemos tres especialidades: Sistemas de Telecomunicación, Telemática y Sistemas Electrónicos.

Es en la mención en Sistemas Electrónicos donde se marca la asignatura de cuarto curso denominada Ingeniería de Sistemas Electrónicos de carácter obligatorio. En la otra titulación, Ingeniería de Tecnologías de la Telecomunicación, se imparte una asignatura de cuarto curso denominada Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos de carácter opcional. En ambas impartimos el mismo contenido. Las competencias dentro de estas asignaturas son muy amplias [1], [2]

En estas asignaturas se aplica la estrategia de enseñanza conocida como aprendizaje basado en proyectos (*PBL: Project Based Learning*, [3]) como método docente fundamental. Los estudiantes, ante un proyecto complejo, ven la necesidad de aprender para poder completarlo. La motivación es elevada.

El objetivo de estas asignaturas es la puesta en común de muchos de los conceptos aprendidos en asignaturas anteriores y la enseñanza de una metodología de trabajo en el desarrollo de sistemas electrónicos, así como el aprendizaje de uso de las herramientas CAD (*Computer Aided Design*) necesarias para el mismo.

Al mismo tiempo se pretende dar un punto de partida para la estimación de costes y para la planificación temporal, así como conocer todos los condicionantes que pueden aparecer en el diseño y desarrollo de un sistema electrónico: mecánicos, térmicos, de consumo eléctrico, de compatibilidad electromagnética, etc.

El desarrollo de cualquier sistema electrónico actual tiene dos vertientes: la parte física y tangible (*hardware*) y la

parte algorítmica que dota de inteligencia al mismo (*firmware, software*). Ambas se deben abordar de manera conjunta dado que la mayoría de las decisiones de diseño en una vertiente pueden afectar a la otra.

El proyecto propuesto consiste en el diseño, desde cero, desde la idea misma, de una videoconsola portátil. Para aumentar la motivación se propone, en el apartado del *software*, la realización de un emulador de un ordenador que tuvo un gran éxito en España y el Reino Unido en la década de los años 1980: el Sinclair ZX Spectrum [4].

Aunque esta decisión parece complicar aún más el proyecto, en realidad, es de una dificultad similar a diseñar un videojuego sencillo (nuestro plan B) y que tiene como ventaja el disponer de miles de videojuegos ya programados y en el dominio público que dotarán a nuestra videoconsola de un mayor atractivo.

La idea inicial de este proyecto surgió de la nostalgia al ver en los kioscos revistas especializadas en *videojuegos retro*. Esta idea inicial se vio reforzada con la aparición en una página de micro-mecenazgo (*crowd-funding*) de un proyecto de videoconsola denominado ZX-Spectrum Vega+ [5] que apareció en 2016 y que recibió una financiación de más de 570.000 euros. Nuestro proyecto no es de la envergadura de este. La idea es hacer lo mínimo indispensable. En la literatura encontramos alguna aproximación a diseñar hardware para videojuegos usando PBL [6] pero ninguna aproximación al problema del diseño completo

II. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Dado que se trata de un proyecto comenzamos haciendo una planificación de las diferentes fases del desarrollo del sistema electrónico propuesto teniendo como condicionantes la fecha de finalización de la asignatura, y las características y componentes microelectrónicos principales -ya decididos por el profesor-. Entre estas fases se encuentran:

- Especificación del proyecto.
- Diseño electrónico y captura esquemática.
- Diseño de la placa de circuito impreso (PCB: *Printed Circuit Board*).
- Fabricación de la PCB.
- Realización del *firmware*: simulación y depuración.
- Montaje, verificación y caracterización del *hardware*.

■ Documentación final.

II-A. Especificación del proyecto

En una primera tormenta de ideas se plantean las características y un diagrama de bloques (figuras 1 y 2) del sistema electrónico a realizar y se permite que el alumnado decida la inclusión de algunas características extra (por ejemplo, que tenga botones como gatillos, que lleve un *joystick* en vez de una cruz de botones, etc). Esto hace más interesante el proyecto si cabe ya que hay que plantear cómo, con la experiencia de los profesores, se resuelven esas nuevas características y los alumnos tienen una implicación mayor al ser idea suya.

Para el proyecto planteado analizamos las características del computador a emular (ZX Spectrum 48 [4]) que dispone de 16 kB de memoria ROM y 48 kB de memoria RAM y de un microprocesador de 8 bits (Zilog Z80) corriendo a 3,5 MHz.

De ahí elegimos el microcontrolador NXP LPC2106 (arquitectura ARM7TDMI, 60 MHz) que tiene 128 kB de memoria Flash y 64 kB de memoria RAM. La idea es que la memoria ROM del ZX Spectrum esté contenida en la memoria no volátil y los 48 kB de memoria RAM del ZX Spectrum estén dentro de los 64 kB de memoria RAM de nuestro micro.

El microcontrolador elegido es simulable con el *software* de captura esquemática, simulación y diseño de PCB: Labcenter Proteus [7]. Otro modelo de microcontrolador con menos memoria (NXP LPC2103, 32 kB Flash, 8 kB RAM) se estudia en una asignatura de segundo curso (Sistemas Electrónicos basados en Microprocesadores). Así, la curva de aprendizaje es rápida. También han contado con otra asignatura de microcontroladores y DSPs en tercer curso.

Para la pantalla sabemos que el ordenador a emular dispone de una resolución de 256x192 píxeles y 16 colores. El módulo con pantalla TFT a emplear será de 4,3 pulgadas con una resolución de 480x272 píxeles y 65536 colores, e incluye un controlador del TFT con memoria VRAM suficiente, retroiluminación, pantalla táctil resistiva y ranura para tarjeta de memoria (donde irán los ficheros de los diferentes videojuegos). Este módulo está disponible en Itead o Aliexpress [8], [9].

Nuestro sistema electrónico debe ser portable, luego debe incorporar una batería recargable a través de un conector USB. La capacidad energética y por ende su tamaño lo decidiremos después de hacer un cálculo de consumo eléctrico, en un caso peor, de todos los componentes electrónicos y de la cantidad de tiempo de juego disponible deseable entre cargas. Para ello hay que consultar toda la documentación disponible.

A partir de aquí se realiza una planificación temporal del proyecto empleando *software* especializado [10], [11] y una asignación de tareas entre los miembros de cada grupo. Inicialmente la estimación temporal es dada por el profesor. El seguimiento lo hace cada grupo para tratar de cumplir la planificación ajustando los tiempos a la realidad.

II-B. Diseño Electrónico y Captura Esquemática

Estudiando el esquemático del módulo con el TFT elegido y el esquemático de la placa de evaluación del microcontrolador

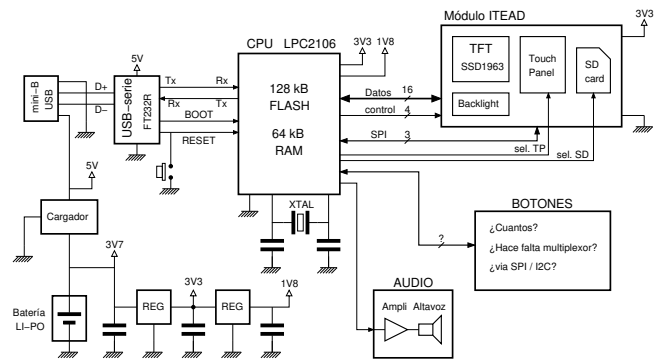


Figura 1. Diagrama de bloques. Versión 1.0. Curso 2017-2018.

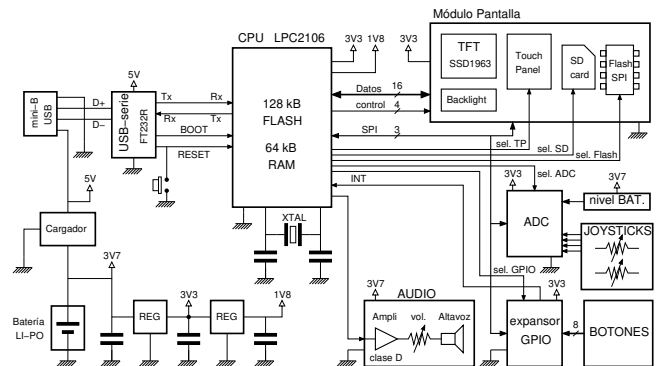


Figura 2. Diagrama de bloques. Versión 2.0. Curso 2018-2019.

empleado en segundo curso, LPC2103, tenemos el punto de partida para eliminar lo que no emplearemos y para añadir lo que nos hace falta.

En esta fase se discuten en clase temas como la monitorización de la carga de la batería (descartada el primer año e implementada el segundo), el número de botones y su disposición, el amplificador de audio, etc. También se hace un estudio del consumo eléctrico estimado y de la duración de la batería elegida (LiPo 3,7 V, 720 mAh, unas 3 horas y media de juego).

También se calcula cuanto se va a calentar cada componente empleando los datos de resistencia térmica de los encapsulados elegidos (algo que después constataremos con una cámara termográfica, ver figura 3) para ver si se necesita algún mecanismo de disipación extraordinario.

Decidimos que todos los grupos empleen las mismas patillas del microcontrolador para las mismas tareas tratando de que el *software* funcionen en cualquiera de los diseños.

Generan, con la ayuda del CAD, un listado de los materiales empleados y un presupuesto tomando precios de un distribuidor nacional [12]. A esto se añadirán otros costes (caja, recursos materiales inventariables, recursos humanos: ingeniero, operario de montaje, etc.). El listado incluye todas las referencias y enlaces a hojas de datos.

Una vez entregados los borradores de la captura esquemática y del listado de materiales, son verificados por los profesores y se pasa a la siguiente etapa.



Figura 3. Uso de la cámara termográfica. Se observa que las zonas donde se encuentran los reguladores de tensión y el cargador de batería están más templadas.

II-C. Diseño de la PCB

Se les entrega una plantilla (figuras 4 y 5) para fijar la colocación de algunos componentes críticos dentro del diseño mecánico impuesto por el profesor. Previamente se ha diseñado (figuras 6 y 7) una caja [13], [14] que se fabrica con una impresora 3D [15], [16]. Los botones y ranuras deben coincidir con los componentes en la PCB. Todas las PCBs diseñadas por todos los grupos deberán ir montadas en el mismo diseño mecánico. De esta fase se explica a los alumnos el cómo se ha realizado por si quieren innovar y diseñar su propia caja manteniendo los requerimientos mecánicos.

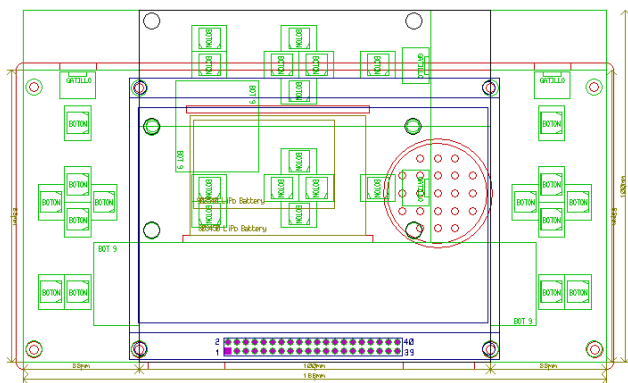


Figura 4. Plantilla de la disposición de algunos componentes. La caja de plástico será la misma para todos los diseños. Versión 1.0.

Se diseñan las huellas de los componentes no presentes en las bibliotecas del *software* CAD (Labcenter Proteus [7]). También se les indica que pueden obtenerse de repositorios en

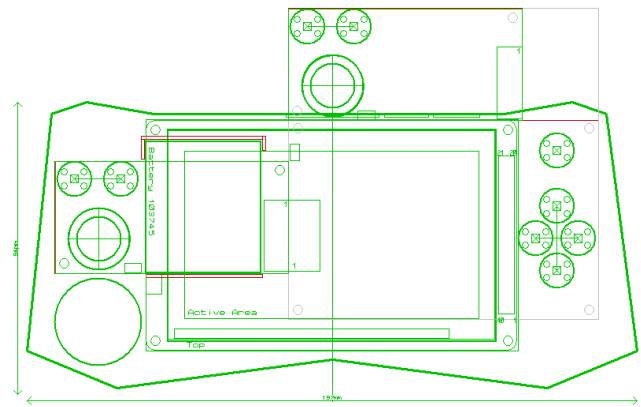


Figura 5. Plantilla de la disposición de algunos componentes. Versión 2.0. La PCB de 100x100 mm será cortada en dos trozos unidos por un conector para cubrir el área de la consola.

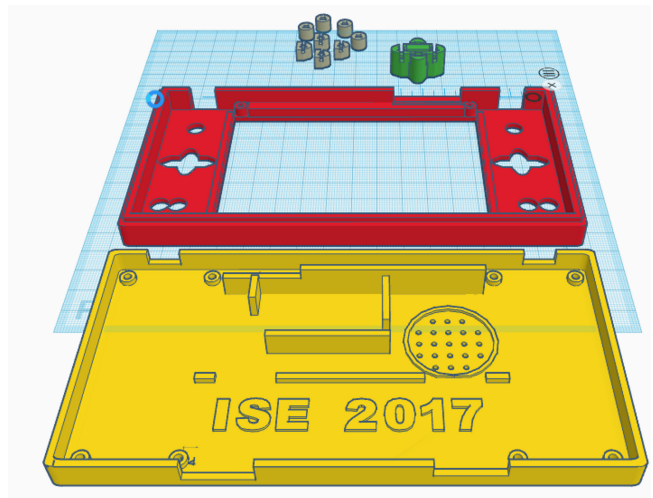


Figura 6. Diseño de la caja. Versión 1.0 realizada con TinkerCAD [13].

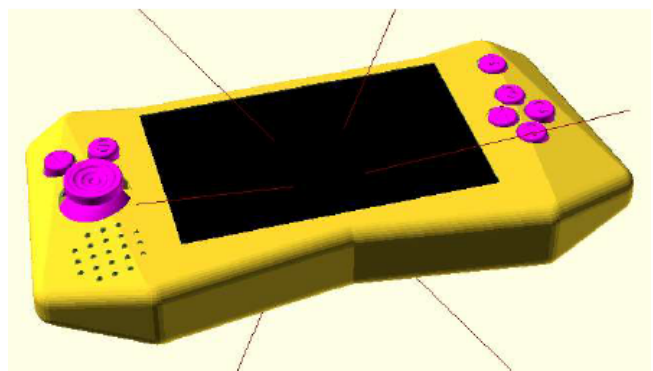


Figura 7. Diseño de la caja. Versión 2.0 realizada con OpenSCAD [14]. En esta ocasión la caja es más ergonómica que la versión anterior.

Internet como SnapEDA [17]. Aquí se hace hincapié en verificar todos los componentes, incluidos los de las bibliotecas de Proteus o de SnapEDA, para que coincidan los pines de los símbolos de la captura esquemática con los pines de las huellas dibujadas para el diseño de la PCB.

Se sitúan los componentes en la PCB siguiendo la estrategia indicada (conectores en la periferia, componentes fijos en su sitio, el resto siguiendo el esquemático) y se procede al trazado de pistas (algunos de forma manual, y otros de forma automática) teniendo en cuenta si son señales o alimentaciones (decidiendo su anchura). Se añaden planos de masa y zonas de disipación térmica. Se completa añadiendo serigrafía para la identificación de la PCB y para facilitar el montaje y se añaden puntos de test para la depuración del *hardware*. Los alumnos crean logotipos y dibujos para identificar su grupo. Se comprueba que no se violen las reglas de diseño del fabricante y que todas las conexiones estén realizadas.

Finalmente, se generan los ficheros para su fabricación (gerber) y se visualizan. También se explica la generación de vistas 3D y cómo se añaden y obtienen los modelos 3D [18] (figuras 8 y 9). El profesorado verifica los diseños de las PCB antes de enviarlas a su fabricación.

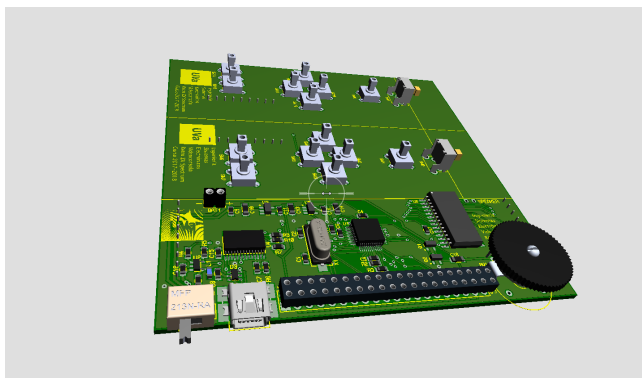


Figura 8. Vista 3D del diseño de la PCB en la versión 1.0.

II-D. Fabricación de la PCB

Encargamos la fabricación de la PCB [8], [19] a través de una empresa local. En este momento se analizan detalles como las reglas de diseño soportadas por el fabricante elegido y se explican las fases de fabricación de una placa de circuito impreso y cómo acomodamos nuestro *software* CAD a dichas reglas de diseño.

Al cabo de entre una y tres semanas recibimos las PCB. Nuestro diseño está inscrito en un cuadrado de 100 x 100 mm, tiene pistas a dos caras con vías metalizadas y serigrafía en ambas caras. Cada grupo recibe la PCB que ha diseñado, que habrá sido convenientemente personalizada por ellos (logotipos, fotografías). El profesor también recibe la suya (por si hay problemas graves en las de los alumnos).

II-E. Firmware: simulación y depuración

Mientras dura la fabricación de la PCB, partiendo del esquema electrónico generamos otro esquema algo más simplificado

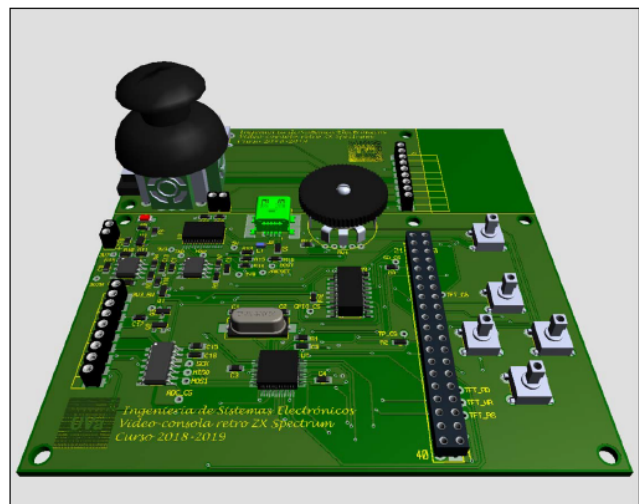


Figura 9. Vista 3D del diseño 2.0.

para facilitar la simulación de los componentes (incluso para la pantalla TFT disponemos de un modelo de simulación). En esta fase comenzamos a estudiar los diferentes bloques del *hardware* desde un punto de vista de la realización del *software* necesario para su control.

Es aquí cuando vemos cómo se pinta en la pantalla TFT y buscamos funciones que permitan dibujar texto, puntos, líneas, etc. Para ello analizamos el datasheet viendo el protocolo digital de comunicaciones y las funciones internas disponibles en el controlador de vídeo. El *software* básico se proporciona y explica.

También estudiamos cómo controlar la pantalla táctil y como calibrarla. Vemos cómo acceder a los botones a través del circuito expansor. Analizamos cómo digitalizar las entradas analógicas a través del convertidor ADC. Vemos cómo acceder a la tarjeta de memoria y a su sistema de ficheros de tipo FAT32.

La mayor parte del *firmware* lo obtenemos directamente de Internet o ha sido previamente adaptado por el profesorado: en particular el acceso al controlador del TFT y del panel táctil [20]. Una parte del *software* de control de periféricos lo realizan los alumnos así como el programa principal.

Aquí es, donde con plena libertad cada grupo comienza a desarrollar su propia versión del plan B propuesto que consiste en la realización de un videojuego en modo nativo no emulado. En las primeras versiones se propuso un homenaje al primer videojuego de la historia (*Pong*, Atari, 1972) para un único usuario, tipo frontón, o para dos jugadores (figura 17).

Muchas de estas partes es preferible hacerlas una vez se dispone del *hardware* ya montado dado que la simulación con el CAD es lenta, aunque muy útil a la hora de encontrar los problemas.

La implementación del emulador del ordenador Spectrum (figuras 10 y 11) es un valor añadido proporcionado por el profesor en formato binario. Su complejidad hace inviable que sea resuelto o explicado en clase. El objetivo principal de esa

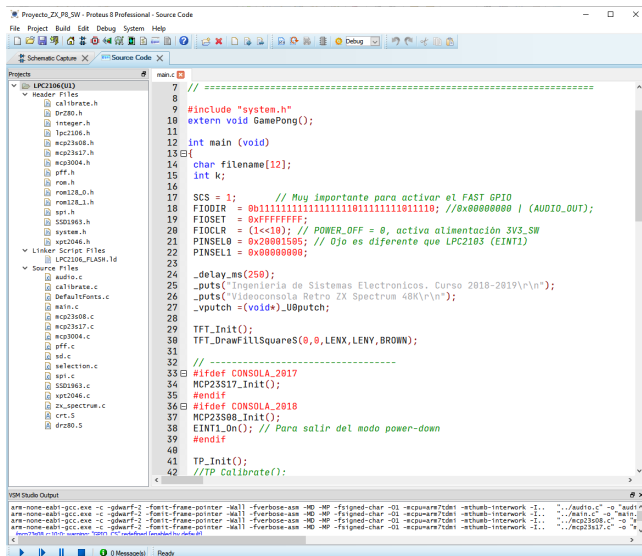


Figura 10. Detalle del *firmware/software* escrito con la herramienta de CAD Proteus.

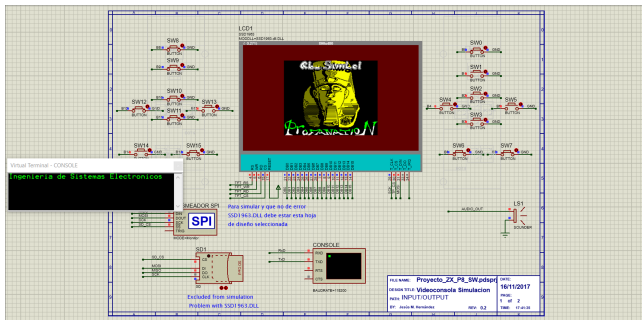


Figura 11. Pantalla con la simulación del *software* con la herramienta de CAD Proteus.

propuesta es el aumento de la motivación del alumnado al saber que están construyendo un sistema que al final tiene una versión del *software* más versátil.

II-F. Montaje, verificación y caracterización del hardware

Durante el proceso de montaje trabajando con componentes de montaje superficial (SMD) es necesario el uso de microscopios (figura 12) y soldadores con control de temperatura y puntas finas. Conviene no tomar bebidas estimulantes o energéticas a fin de mantener el pulso en su sitio.

La falta de experiencia hace que surjan problemas de montaje por doquier, pero que con las instrucciones apropiadas y un ejemplo de montaje proyectado en pantalla grande, se van solventando poco a poco. La aparición de problemas retrasa el desarrollo de la asignatura, pero resulta muy didáctico para todos.

Finalmente se procede a la depuración del *hardware* por fases siguiendo el esquemático y los puntos de pruebas diseminados por la PCB. El último punto es el ensamblado final (figuras 13 y 14) de la videoconsola.

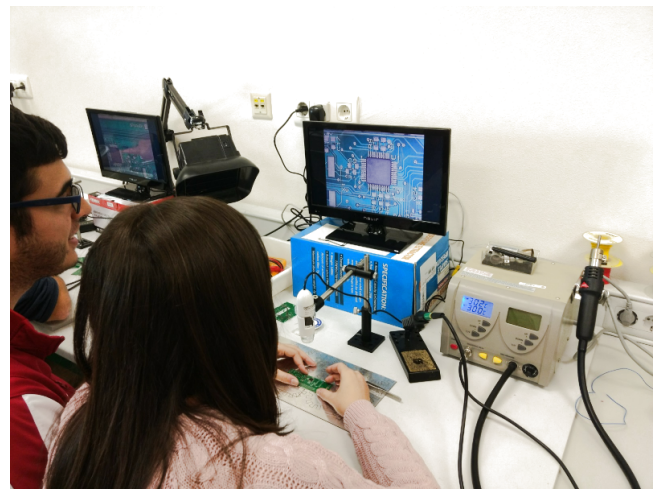


Figura 12. Uso de microscopio para realizar la soldadura SMD.



Figura 13. Vista del interior de la videoconsola v1.0 una vez terminada.

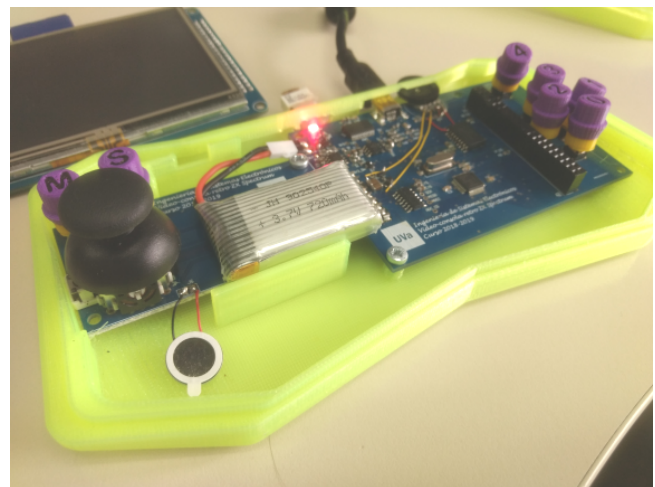


Figura 14. Vista interior de la videoconsola v2.0. Se tuvo que cambiar de módulo TFT ya que el empleado el año anterior se dejó de vender. Encontramos uno compatible en software.

También se hace un intento de caracterizar las emisiones electromagnéticas empleando un analizador de espectros y unas sondas de campo cercano eléctrico y magnético. Esto busca complementar una asignatura de Compatibilidad Electromagnética que se imparte en el mismo cuatrimestre.

Los alumnos proceden a probar y depurar el *software* creado en el simulador tanto el videojuego planteado (plan B, figura 17) como el *software* emulador del ZX Spectrum (figuras 15 y 16) para su disfrute. Esta fase se lleva una buena parte del tiempo del proyecto.

II-G. Documentación final

Para la evaluación de la asignatura se realiza un informe técnico que documente lo realizado -algo imprescindible para el mantenimiento y actualización de los productos comerciales y para poder llevar un control de revisiones-. Se recomienda el uso de la herramienta \LaTeX de uso profesional [21] y gratuita aunque no es obligatorio.

En el documento deben aparecer, con suficiente calidad tipográfica y de edición, los esquemáticos generados, los cálculos de consumo eléctrico, las decisiones de diseño, el cálculo térmico, el listado de materiales con todas las referencias y enlaces a la documentación, el presupuesto del mismo y el diseño de la PCB incluyendo todas las caras.

Además debe incluir la planificación original y el diagrama de Gantt con los tiempos reales dedicados.

En el apartado del *firmware/software* deben aparecer las estrategias, organigramas y el código que han escrito en un formato numerado y con sintaxis resaltada. Deben describir las características y manual de uso del programa escrito.

Se pide también un apéndice con los problemas encontrados y su solución, ya sean problemas *hardware* o *software*. Se les recomienda la lectura de Agans [22] para seguir una estrategia de depuración.



Figura 15. Videoconsola v1.0 funcionando con el videojuego *Abu Simbel Profanation* de Dinamic Software, 1985.



Figura 16. Videoconsola v2.0 funcionando con el videojuego *Knight Lore* de Ultimate Play the Game, 1984.

III. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

Esta estrategia de enseñanza se ha seguido durante dos años consecutivos -el actual será el tercero- con unos resultados muy satisfactorios. El alumnado ha estado muy motivado a dedicar su tiempo a la resolución del proyecto planteado acudiendo al laboratorio incluso fuera del horario lectivo. Hemos de decir que no ha habido ningún abandono y que todo el mundo ha superado la asignatura en la convocatoria ordinaria.



Figura 17. Ejemplo de videojuego Pong desarrollado por los alumnos en modo nativo sin emplear el emulador.

El proyecto tiene un carácter agregador de muchos de los conocimientos aprendidos en el resto de las asignaturas del título universitario. Este punto es muy interesante para el alumno por que es capaz de ver la relación en un caso práctico de muchos contenidos vistos con anterioridad. Por ejemplo, ven la utilidad del cálculo matricial para calibrar el panel táctil con respecto a lo visualizado en el TFT.

Desde el punto de vista organizativo hemos de decir que el profesorado ha dedicado mucho tiempo durante el primer año, algo que se ha visto reducido notablemente durante el segundo. El número de alumnos siempre fue pequeño (10-15) y por tanto gestionable. El coste de los materiales, la mayoría fungible, tiene que ser tenido en cuenta con grupos más grandes. Una alternativa es que los alumnos adquieran algunos componentes (TFT, 25€) y que la videoconsola al final sea para ellos. El coste total está en torno a 65€ sin contar la mano de obra.

Otro problema surge a la hora de reparar PCBs mal diseñadas o componentes mal montados. Esto requiere, después de algunos intentos por parte del alumnado, de la ayuda del profesor, entorpeciendo el desarrollo de la asignatura. Para evitar esto es imprescindible verificar con mucho celo las propuestas de esquemáticos y de PCBs diseñadas antes de mandarlas fabricar.

En el momento de redactar este artículo nos encontramos desarrollando la versión 3.0 de la videoconsola. Se han añadido características como un motor con una masa excéntrica que funcionará como vibrador y un acelerómetro/giroscopio digital que permita el control del videojuego inclinando la videoconsola. Estas, son propuestas del alumnado.

El plan B, en el curso actual, consiste en el desarrollo de un videojuego tipo *Breakout*, (Atari, 1976) o *Arkanoid* (Taito, 1986) donde al romper cada ladrillo vibre la consola y que permita el movimiento de la raqueta inclinando la videoconsola.

A futuro se podría pensar en incluir conectividad inalámbrica (*Wifi*, *Bluetooth*, etc.) a la videoconsola para ampliar más el ámbito del proyecto acercándolo de esta manera al internet de las cosas (*IoT*). Por ejemplo, para descargar los videojuegos directamente de la nube.

IV. CONCLUSIONES

Como solemos comentar a nuestros alumnos *cuanta más dificultad tenga un proyecto más cosas se aprenden*, y en el mundo actual con el máximo nivel de competitividad entre profesionales esto es un gran valor añadido. Trabajar en un proyecto más simple no da la misma satisfacción, en nuestra opinión. Hablamos del gusto por los retos y las cosas bien hechas.

Es notoria la cara de incredulidad de los alumnos el primer día de clase al proponerles este trabajo. Igual de notable es la cara de satisfacción de aquellos que logran llegar al final. También lo es la cara de decepción de los que se quedan a un paso por que ha terminado el periodo lectivo.

En definitiva, una experiencia enriquecedora tanto para profesores como para alumnos, que les acerca al mundo laboral y a sus procedimientos de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Interconexión de Sistemas Electrónicos, Guía docente, https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2019/460/45041/1/documento.pdf, 2020.
- [2] Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos, Guía docente, https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2019/512/46649/1/documento.pdf, 2020.
- [3] D.R. Woods. *Problem-based learning: how to gain the most from PBL*. McMaster University, 1994.
- [4] Sinclair ZX Spectrum, https://es.wikipedia.org/wiki/sinclair_zx_spectrum, 2020.
- [5] <https://www.indiegogo.com/projects/the-sinclair-zx-spectrum-vega-plus-console-games#/>, 2020.
- [6] M. Perales Esteve, E. López Morillo, F. Muñoz Chavero, F. Barro García, and S Toral Marín. Evaluación basada en proyectos en una asignatura troncal de sistemas electrónicos. *Libro de Actas, TAAE 2018*, 2018.
- [7] Labcenter Proteus. PCB design an circuit simulator software <https://www.labcenter.com/>, 2020.
- [8] On-line service for PCB board design and manufacture <https://www.itead.cc/open-pcb/pcb-prototyping/2layer-green-pcb-10cm-x-10cm-max.html>, 2020.
- [9] TFT 4.3^{en} Aliexpress <http://es.aliexpress.com/item/32920127970.html>, 2020.
- [10] Gannt project, <https://www.ganttproject.biz/download/free>, 2020.
- [11] Open project, <https://openproj.uptodown.com/windows/descargar>, 2020.
- [12] Farnell España, distribuidor de componentes electrónicos <https://es.farnel.com>, 2020.
- [13] TinkerCAD. Create 3D digital designs with online CAD <http://www.tinkercad.com>, 2020.
- [14] OpenSCAD. The Programmers Solid 3D CAD Modeller <http://www.openscad.org>, 2020.
- [15] Leon3D. Impresoras 3D. <http://https://www.leon-3d.es/>, 2020.
- [16] Anycubic: 3D printing <http://https://anycubic.com>, 2020.
- [17] SnapEDA. Free PCB footprints and schematic symbols <https://snapeda.com>, 2020.
- [18] 3D Content Central: Modelos CAD en 3D gratuitos. <https://www.3dcontentcentral.es/>, 2020.
- [19] China PCB Prototype and Fabrication Manufacturer <https://www.pcbway.com>, 2020.
- [20] UTFT Rinky Dink Electronics, <http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=51>, 2020.
- [21] Michel Goossens, Frank Mittelbach, and Alexander Samarin. *The BTeX Companion*. Addison-Wesley, 1993.
- [22] D.J. Agans. *Debugging: The 9 Indispensable Rules for Finding Even the Most Elusive Software and Hardware Problems*. Amacom, 2002.

Mejora de las habilidades prácticas en el aula de electrónica con laboratorios portátiles

David Valiente
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
dvaliente@umh.es

María Flores
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
m.flores@umh.es

Fernando Rodríguez
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
fernando.rodruiguez@umh.es

Juan Carlos Ferrer
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
jc.ferrer@umh.es

José Luis Alonso
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
j.l.alonso@umh.es

Susana Fernández de Ávila
Engineering Communications Dept.
Miguel Hernández University
Elche (Alicante), Spain
s.fdezavila@umh.es

Resumen—Los cursos de electrónica en la universidad son de suma importancia en la mayoría de los programas de aprendizaje dentro de la ingeniería. Estos se enseñan ampliamente desde los niveles iniciales en los títulos de grado hasta los niveles avanzados en los títulos de master. En este contexto, las clases generalmente persiguen el logro del aprendizaje activo y la comprensión de los estudiantes, concentrándose particularmente en la adquisición de habilidades prácticas y competencias relevantes para su desarrollo profesional. Las mejoras en estos aspectos se han reportado ampliamente, representadas principalmente por metodologías apoyadas en recursos relacionados con las tecnologías de la información y la comunicación, frente a metodologías anteriores y tradicionalmente han sido soportadas por clases magistrales presenciales. En este trabajo, presentamos un programa de aprendizaje renovado para un curso de electrónica que se imparte en segundo año de tres licenciaturas diferentes en ingeniería. El objetivo principal es facilitar el aprendizaje activo y mejorar las habilidades prácticas adquiridas por los estudiantes. Hasta el momento, se había trabajado a través de lecciones teóricas y prácticas en aula, así como en laboratorio. Sin embargo, en este trabajo planteamos la extensión de la metodología de laboratorio al aula, durante las lecciones de teoría. Con ese propósito, hemos utilizado laboratorios portátiles durante las lecciones de teoría, para apoyar la explicación de conceptos teóricos mediante ejemplos reales de laboratorio in situ. Se llevó a cabo durante todo el calendario de lecciones teóricas del curso. Presentamos resultados que validan la idoneidad de este enfoque en términos de rendimiento y comprensión de los estudiantes, pero también en términos de satisfacción, según el análisis de resultados obtenido mediante cuestionario. También se presentan resultados comparativos ampliados, de los cuales se pueden deducir conclusiones adicionales.

Index Terms—aprendizaje activo, laboratorios portátiles, fundamentos de electrónica, electrónica analógica

I. INTRODUCCIÓN

Las tendencias de enseñanza en educación superior universitaria evolucionan permanentemente hacia modelos donde se espera que los estudiantes sean lo suficientemente autónomos como para liderar y construir su propio conocimiento. En

este sentido, durante la última década, se han propuesto diferentes y variados enfoques para la renovación de las metodologías tradicionales. En el marco de la ingeniería, hoy en día existe una amplia variedad de enfoques de aprendizaje activo, que reciben reconocimiento suficiente por parte de la comunidad investigadora. Técnicas de simulación como [1]–[4] representan uno de tales enfoques, siendo uno de los más robustos y confiables para testear de modo simulado el comportamiento de cierto modelo teórico en ingeniería. Otros recursos digitales también han tenido éxito, como los laboratorios virtuales [5]–[7], o como los cursos digitales que adaptan dinámicamente su contenido según el conocimiento previo y el perfil específico de cada estudiante, muchos de estos con contenido interactivo [8]–[10]. Otros enfoques [11], [12] han modificado el tipo de herramienta utilizada por los estudiantes para seguir el programa de aprendizaje, pero bajo la misma esencia.

A pesar de la variedad de enfoques propuestos, el factor más relevante recae en la metodología. La mayoría de los anteriores se concentran en metodologías combinadas [13], [14] entre lecciones presenciales y lecciones en línea, o bien asignando trabajo autónomo fuera del aula. La mayoría de los enfoques más actuales parecen reforzar la idea de éxito asociada a dichas metodologías combinadas y en línea, especialmente cuando se trata de la adquisición de habilidades, competencias laborales reales y, en última instancia, del aprendizaje activo. En cambio, en ciertos contextos, tales metodologías son muy exigentes tanto para profesores como para estudiantes, a la hora de lograr tales objetivos. Según se muestra en varios trabajos [15], [16], en el campo de la electrónica existen muchas ideas preconcebidas [17] por los estudiantes, así como otras dificultades generalmente extendidas entre ellos [18], lo cual no es trivial para el profesorado. Por esta razón, la relevancia de las lecciones presenciales con la guía de los profesores sigue siendo de suma importancia. En base a esto, surgen

otras alternativas para promover el aprendizaje activo, sin la necesidad de usar enfoques combinados o mixtos, ni en línea. El aprendizaje basado en proyectos y problemas [19]–[21] es ampliamente reconocido en este sentido. En él, el cronograma del curso se dedica principalmente a trabajar sobre un conjunto de reducido de proyectos. Además, el éxito de tales programas depende en gran medida del procedimiento, las actividades y los pasos diseñados, lo cual finalmente consigue promover un aprendizaje real y activo, con una adquisición válida de habilidades.

Teniendo en cuenta el análisis anterior, hemos diseñado un programa de aprendizaje renovado para un curso de electrónica, que mantiene su base principal de lecciones en aula de teoría. Además, existe el apoyo con lecciones en el laboratorio de electrónica para clases prácticas, y adicionalmente se añaden lecciones prácticas, enfocadas principalmente a la resolución de ejercicios y problemas reales. Según nuestra experiencia, esta metodología necesitaba más ejemplos asociados al futuro laboral de los estudiantes. La enseñanza por ejemplificación dentro de un campo tan abstracto como puede ser la electrónica, se considera crucial. Por ello, la solución más inmediata fue la planificación de lecciones más prácticas. No obstante, debido a la gran cantidad de cursos que utilizan los laboratorios, el aumento de su uso no fue posible. Por ello, se decidió explotar la alta disponibilidad de dispositivos de bajo coste para medición electrónica, entre los que seleccionamos algunos provistos por Digilent [22], en concreto este dispositivo [23], que ya habíamos usado para otros fines de investigación. Esto permitió utilizar durante todas las lecciones en aula de teoría varios osciloscopios USB con varias entradas y salidas analógicas y digitales (de ahora en adelante, laboratorio portátil), para apoyar todas con ejemplificación todos los conceptos teóricos vistos en clase, así como la resolución de problemas.

Así, la intervención se realizó en un curso de electrónica en el segundo año de tres títulos de grado en ingeniería, con planes académicos comunes dentro de la Universidad Miguel Hernández. Como se mencionó anteriormente, la metodología del curso mantuvo su base, sin embargo, todas las lecciones de teoría se rediseñaron para incluir ejemplos reales de circuitos, que después de ser explicados teóricamente y analíticamente resueltos, fueron testeados y medidos por los estudiantes, gracias a varios dispositivos portátiles, o laboratorios portátiles. Este enfoque permitió a los estudiantes asimilar rápidamente los conceptos teóricos y los aspectos prácticos asociados a la resolución analítica de los circuitos electrónicos, poniendo de manifiesto el potencial de la ejemplificación práctica durante el tiempo transcurrido en las clases de teoría. Los estudiantes no tuvieron que esperar varios días ni semanas para asistir al laboratorio para consolidar su aprendizaje. De modo que las pocas lecciones prácticas en laboratorio, se reservaron para trabajar diseños de circuitos y problemas electrónicos más avanzados y específicos.

Para validar la idoneidad de este trabajo, hemos analizado el rendimiento de los estudiantes a final del curso. Además, también hemos evaluado la percepción y satisfacción de los

estudiantes mediante un cuestionario. Cabe señalar que, dado que esta intervención se realizó con toda la clase en su conjunto, los resultados con grupos de test y control no fueron viables para extraer comparaciones. Por esta razón, evaluamos los resultados de rendimiento de este curso de manera comparativa frente al registro histórico de años académicos anteriores, en el que se introdujeron algunos otros recursos adicionales, como la simulación.

La estructura del resto del documento es la siguiente: la sección 2 describe los materiales y el método de este programa de aprendizaje; la sección 3 presenta los resultados obtenidos y su análisis; la sección 4 expone una discusión y postula las principales conclusiones e ideas emanadas de este trabajo.

II. MATERIALES Y MÉTODO

Esta propuesta se implementó durante el año académico 2018/2019, para un curso de electrónica correspondiente al segundo año de los tres títulos de siguientes de grado en ingeniería: Mecánica, Eléctrica y Electrónica y Automática, todos comprendidos en un plan académico común de ingeniería dentro de la Universidad Miguel Hernández.

A. Objetivos

El objetivo principal persigue lograr un aprendizaje activo y adquisición de habilidades prácticas en electrónica de manera autónoma por parte los estudiantes. Para ello, se idearon los siguientes objetivos específicos:

- Reforzar la comprensión de conceptos electrónicos básicos a través de la ejemplificación.
- Proporcionar recursos adicionales para comprobar las resoluciones analíticas.
- Montar circuitos reales y comprobar ejercicios prácticos que fomenten el desarrollo de habilidades prácticas.

B. Participantes

Los estudiantes que participaron en este curso fueron 184, de entre un total de 203 que inicialmente constaban inscritos en el curso. Se clasificaron según sus tres grados de procedencia, tal y como se indica en la Tabla I. Como se comentó anteriormente, el análisis por grupos de test y control no fue viable debido al tipo de metodología, distribución, y participación del alumnado en este estudio. El número de estudiantes considerados como participantes fueron aquellos que asistieron al menos al 80% del número de lecciones programadas para el curso.

C. Programa

Este programa consta de 15 semanas de lecciones, organizadas con 3 horas por semana de lecciones teóricas en el aula presencial (las cuales también comprenden lecciones prácticas) y 1,5 horas por semana de lecciones prácticas en el laboratorio. El programa condensa las lecciones de laboratorio durante 8 semanas consecutivas (de la semana 6 a la 14), con 2 horas por lección práctica de laboratorio. La Tabla II sintetiza dicho programa y los temas cubiertos por este curso, así como los dispositivos electrónicos reales probados durante las lecciones

Cuadro I
PARTICIPANTES

num. estudiantes	Mecánica (ME)	Eléctrica (EE)	Electrónica & Automática (EAE)
total matriculados	105	30	68
participantes	85	24	55

de laboratorio y en las lecciones de teoría con laboratorios portátiles, tal y como se propone en este trabajo.

La novedad con respecto a la metodología de cursos anteriores radica en la inclusión de ejemplos reales en cada una de las 15 lecciones de teoría, mediante el uso de laboratorios portátiles. De este modo, los estudiantes pudieron probar por sí mismos el comportamiento de circuitos reales con una aplicación específica. Y por tanto, consiguieron analizar e interpretar la señal de salida de tales circuito de acuerdo con la explicación conceptual y analítica dada por el profesor durante la misma lección teórica. Nuevamente, esto fue posible gracias al uso de varios laboratorios portátiles durante la clase. La preparación por parte del profesorado de estas clases presenciales con el añadido de los laboratorios portátiles, tuvieron una dedicación extra de 1 hora por semana en promedio. Tal dedicación se concentró en la preparación de ejemplos para ser probados durante las lecciones de teoría mediante el montaje y medida con laboratorios portátiles. Merece la pena mencionar que existe una amplia gama de osciloscopios USB de bajo coste que serían adecuados para este programa. En nuestro caso se eligió este dispositivo comercial de Digilent [23], ya que estaba en desuso tras haber servido en otros fines de investigación. La Fig. 1 presenta varios ejemplos del principal dispositivo real utilizado en este programa. También cabe destacar que la contribución principal de este trabajo con respecto a la metodología de cursos anteriores recae en el mejor uso y aprovechamiento de las posibilidades de estos dispositivos reales y equipos de medición para ayudar en la asimilación de conceptos teóricos, así como en la resolución de circuitos que se enseñan en el aula de teoría. En cursos anteriores, los estudiantes aprendieron los procedimientos explicados por los profesores para resolver y analizar circuitos analógicos, con representaciones en pizarra, o previamente digitalizadas, de señales esbozadas por los profesores y, en algunos casos, verificadas por simulación. Por el contrario, en este programa, los estudiantes pudieron ampliar sus conocimientos mediante pruebas in situ con circuitos de ejemplo, montados y medidos con laboratorios portátiles durante la propia lección en el aula presencial. Las 8 lecciones prácticas programadas en el laboratorio se orientaron hacia explicaciones avanzadas y extendidas, y a la comprensión de otros circuitos y conceptos electrónicos más complejos. El uso previo de laboratorios portátiles durante las lecciones teóricas permitió preparar el terreno para tareas prácticas más complejas y, lo cual, proporcionó a los estudiantes una conocimiento inicial sobre los equipos de medición que posteriormente usaron en el laboratorio.

El único requisito previo era disponer de un ordenador personal o portátil, el cual se usó en el aula de teoría,

conectado a un proyector multimedia. La Fig. 2 muestra varios ejemplos del uso de dichos laboratorios portátiles tras la explicación de los conceptos teóricos por parte del profesor. La Fig. 2(a) presenta el circuito explicado durante una de las lecciones: un rectificador de onda completa. La Fig. 2(b) muestra el aula de teoría donde el profesor proyectó las medidas del circuito, adquiridas con un laboratorio portátil, al mismo tiempo que los estudiantes probaron su propia implementación con otro laboratorio portátil conectado a un ordenador portátil. La Fig. 2(c) representa el software de adquisición que debe ejecutar en el portátil, conectado a la plaza de pruebas donde se implementa el montaje del circuito. Finalmente, la Fig. 2(d) amplía el circuito anterior mediante la inclusión de un condensador para el filtrado, a fin de probar la capacidad del circuito para convertir AC-DC con cierto rizado.

III. VALIDACIÓN

Para validar la idoneidad del programa y sus beneficios asociados, además de analizar el desempeño de los estudiantes en términos de calificaciones (que se detallará en la sección de resultados), el equipo de profesores que conforman el departamento de electrónica diseñó un cuestionario pormenorizado. La intención era evaluar la comprensión real y el aprendizaje activo de los estudiantes, de acuerdo con los conceptos teóricos explicados durante el curso. El cuestionario siguió la misma estructura utilizada para evaluar otros recursos adicionales proporcionados durante los años académicos anteriores [3]. Este detalle permitió la comparación frente esos recursos anteriores: un applet de simulación de circuitos desarrollado en Java. Además, se incluyeron varias preguntas para evaluar la percepción del estudiante sobre este programa, pero también su satisfacción y autocomprensión del contenido considerado para el curso. Las respuestas se respondieron según la escala Likert, pasando de *1-total desacuerdo* a *5-total de acuerdo*, para medir el nivel de confianza sobre el conocimiento adquirido según cada pregunta concreta. La Tabla III enumera el tipo de cuestiones incluidas en el cuestionario.

IV. RESULTADOS

Los resultados más inmediatos que se extrajeron, y que permitieron comenzar a evaluar este programa son los relacionados con el logro de los estudiantes, según su desempeño en el examen a final del curso. Esto tiende a proporcionar una primera perspectiva de los resultados a cerca de este programa de aprendizaje. Sin embargo, en este punto, las ideas extraídas todavía pueden ser demasiado generales como para deducir conclusiones sólidas y específicas. Por esta razón, también se ha comparado el desempeño de los estudiantes en el curso actual en comparación con los resultados históricos

Cuadro II
CRONOGRAMA DEL CURSO

Lecciones Teóricas				
Semana	Tema	Contenido	Descripción	Componentes
1	1	Semiconductores	Principios básicos.	
2	2	Diodos	Operación y modelos.	Diodo D4148
3	2		Rectificadores.	
4	2		Filtros & modulación.	
5	2		Recortadores & limitadores.	
6	2		Reguladores.	
7	3	Amplificador Operacional	Operación.	OAmp LM741
8	3		Parámetros.	
9	3		Aplicaciones.	
10	4	Transistores	BJT operación.	BJT BD139
11	4		BJT configuraciones.	BJT 2N2222
12	4		BJT amplificadores.	
13	4		FET operación.	
14	4		FET amplificadores.	
15	4		Aplicaciones.	

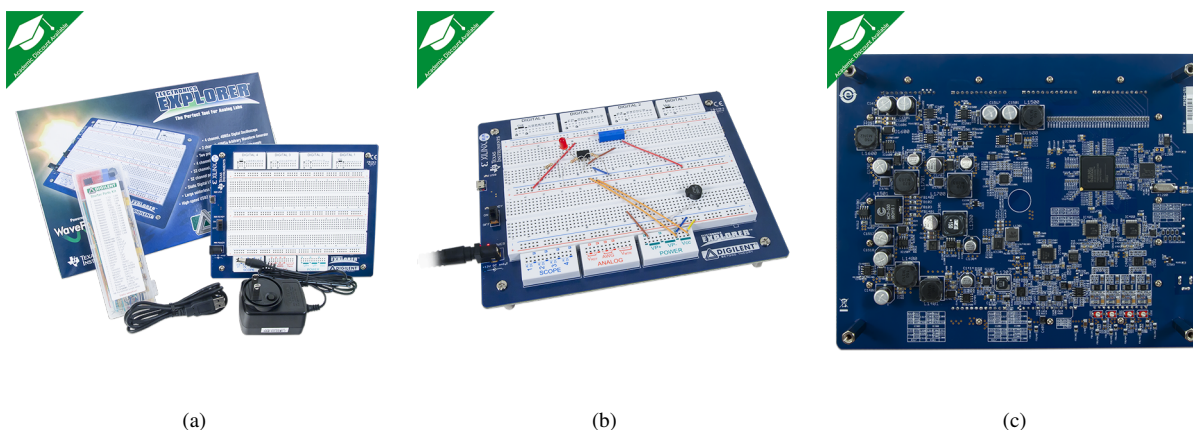


Figura 1. Osciloscopio USB Digilent [23]. (a): kit con alimentación, placa de pruebas (con FPGA integrada en el reverso). (b) ejemplo de un circuito analógico montado. (c): reverso de la placa de pruebas donde se encuentra FPGA integrada.

Cuadro III
CUESTIONARIO

Cuestión	Contenido
1-10	Comprensión de contenidos
11-12	Uso de recursos
13-16	Percepción y satisfacción

de los cinco años académicos anteriores. La Fig. 3 presenta dicha comparación. Se puede observar una pendiente positiva durante todos los años, lo que supone una correspondencia tangible entre los beneficios en el desempeño y la creciente introducción de materiales y recursos adicionales cada año académico. En particular, durante el año académico actual, donde se han introducido los laboratorios portátiles, el rendimiento de los estudiantes revela un logro satisfactorio, el cual supera claramente la calificación media histórica (7.26 frente a 6.33), y también demuestra tener una desviación típica más baja. Debe tenerse en cuenta que las calificaciones están expresadas en una escala de 0-10, siendo 10 el máximo, indicando el 100% de logro. También ha de notarse en el

eje derecho de la figura, el mayor número de estudiantes que aprueban el curso con calificaciones superiores a 5 sobre 10 (casi el 57% frente al valor medio de los últimos 5 años de 45%).

A. Cuestionario

Además, se requirió de un análisis más profundo para obtener deducciones adicionales a cerca de la implementación de esta intervención. Así, la Fig. 4 presenta los resultados obtenidos tras el pase del cuestionario (Tabla III). Tras una primera revisión, puede comprobarse que no existen diferencias muy significativas entre los tres grados de origen de los participantes (títulos de grado en Mecánica, Eléctrica y Electrónica y Automática). Para el primer conjunto de preguntas (1-10), relacionadas con la comprensión de los conceptos explicados durante las lecciones, los resultados observados en la Fig. 4(a) demuestran niveles satisfactorios de confianza en términos de comprensión (en torno a 4 sobre 5). Por el contrario, como se observa en la Fig. 4(b), y siguiendo el contenido de las preguntas (11-12), puede inferirse que son pocos los estudiantes que hacen uso de recursos adicionales para apoyar

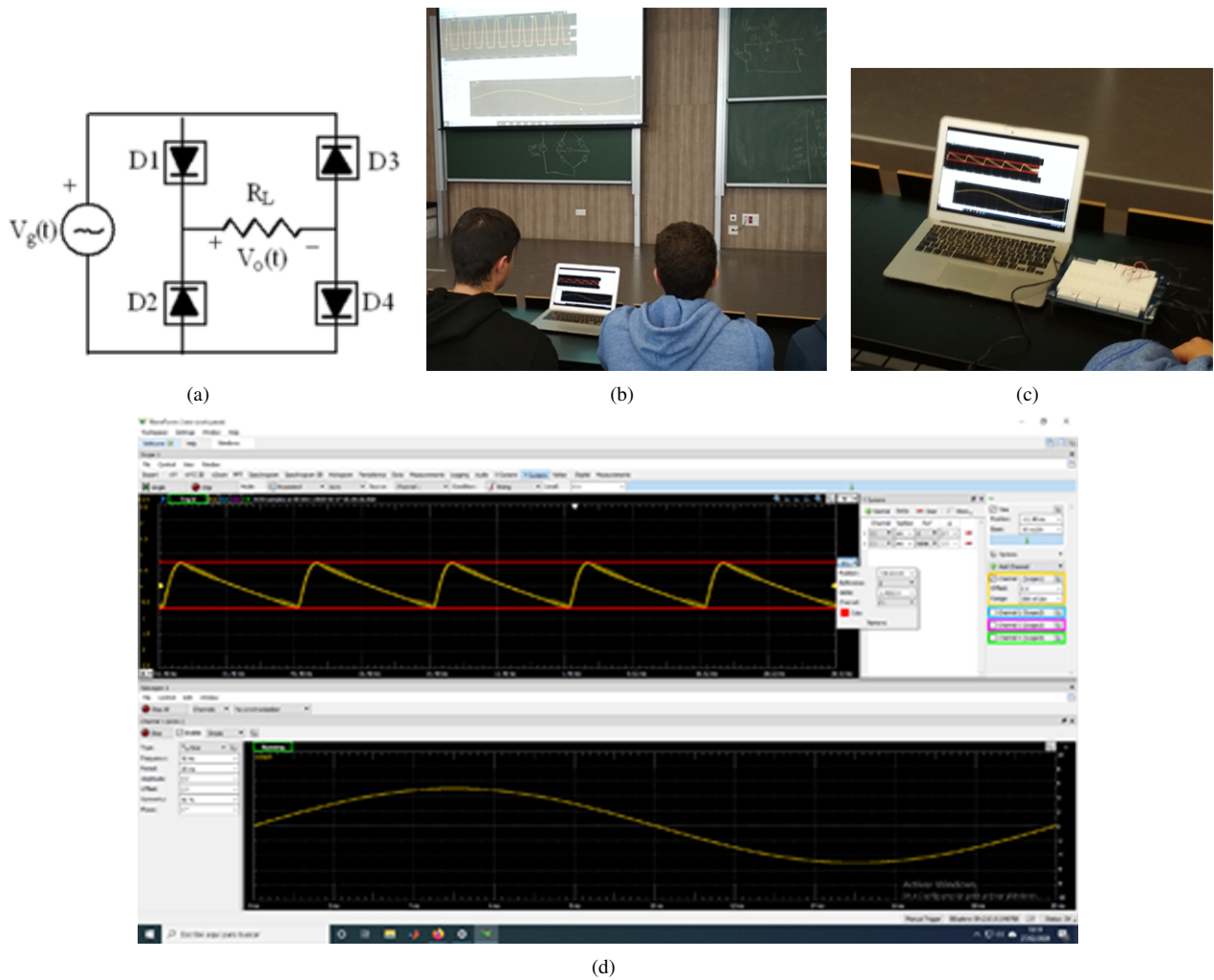


Figura 2. Ejemplos de uso del laboratorio portátil durante las lecciones teóricas presenciales. (a): circuito objeto de estudio con un rectificador de onda completa. (b) lección teórica donde los estudiantes testean el circuito por ellos mismos mientras el profesor proyecta las medidas obtenidas. (c): software de adquisición para el testeo junto con el circuito montado en la placa de pruebas; (d): medidas obtenidas con la inclusión de un condensador para comprobar el efecto del rizado en la conversión AC-DC.

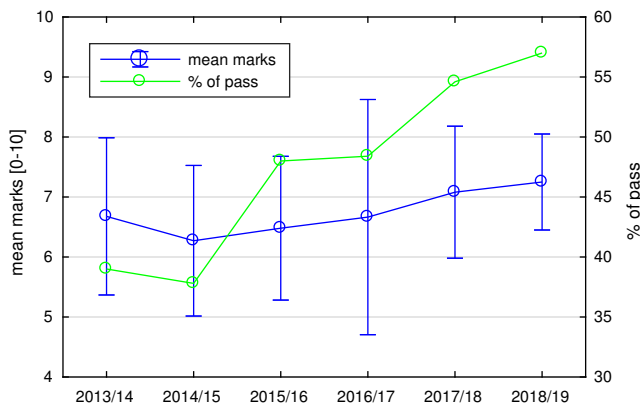


Figura 3. Comparativa de las calificaciones medias (con desviación típica) durante los últimos cinco cursos académicos frente al curso académico actual. El porcentaje-% de estudiantes que aprobó el curso queda representado en el eje derecho.

su aprendizaje. Finalmente, las respuestas a las preguntas (13-16), como también se ilustra en la Fig. 4(b), demuestran que la percepción del programa y su satisfacción con el mismo es bastante positiva. Este último conjunto de respuestas obtiene más de 4 puntos en término promedio. Este hecho demuestra la aceptación extendida y actitud positiva hacia el programa por parte los estudiantes.

A su vez, para establecer una comparación adicional, la Fig. 5 presenta resultados comparativos entre el año académico actual y el último cursado. Estos resultados incluyen las respuestas medias al mismo cuestionario comentado anteriormente. Las barras alineadas a la izquierda (en gris) codifican las respuestas medias asociadas al último curso académico (2017/18), cuando solo se utilizó un applet de simulación de circuitos en Java. Mientras que, las barras alineadas a la derecha (en azul) codifican las respuestas medias para el curso actual (2018/19), independientemente del grado de origen de los estudiantes participantes. La Fig. 5(a) y Fig. 5(b)

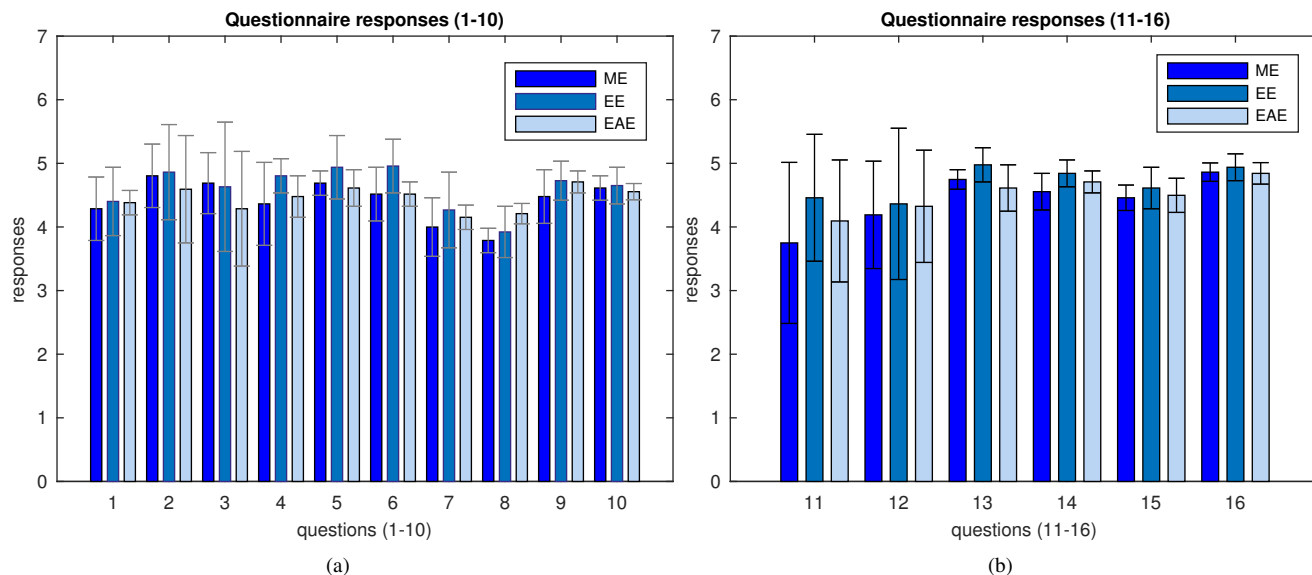


Figura 4. Resultados del cuestionario. (a) respuestas medias asociadas a las preguntas (1-10). (b) respuestas medias asociadas a las preguntas (11-16). ■ Estudiantes de Mecánica; ■ Estudiantes de Eléctrica; ■ Electronics & Estudiantes de Electrónica y Automática

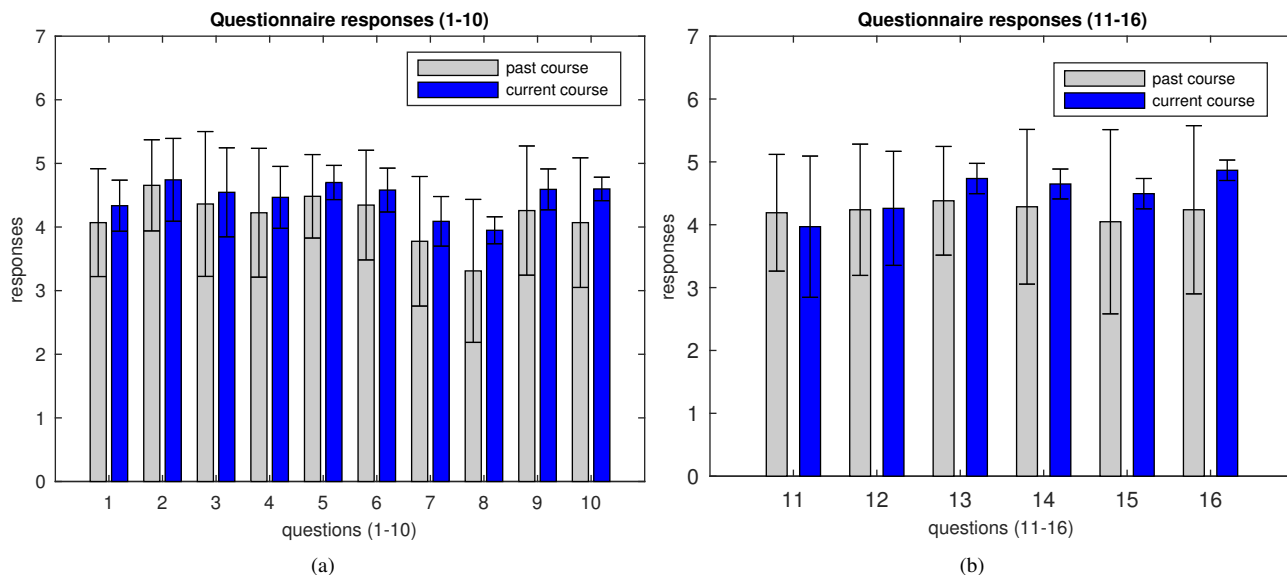


Figura 5. Resultados comparativos extraídos del cuestionario, entre el curso actual durante el año académico 2018/19 (uso de laboratorios portátiles) y el curso anterior durante el año académico 2017/18 (solo uso de simulación de circuitos). (a) respuestas preguntas (1-10). (b) respuestas preguntas (11-16). ■ curso académico 2017/18 donde solo se realizó simulación de circuitos. ■ curso académico actual 2018/19, donde se utilizaron laboratorios portátiles.

comprenden las respuestas a las preguntas (1-10) y (11-16), respectivamente. En este contexto, cabe señalar que el uso de laboratorios portátiles durante el curso actual, en términos generales, revela mejores resultados de comprensión y satisfacción, en comparación con el uso de la simulación de circuitos. También cabe destacar el aumento de la autoconfianza y seguridad entre los estudiantes, con menores desviaciones típicas en sus respuestas.

B. Resto estudiantes no participantes

El último aspecto a analizar tiene que ver con aquellos estudiantes que no participaron en este programa, pese a estar

matriculados en el curso. Como se mencionó inicialmente, las pruebas con grupos de test y control no se pudieron considerar ya que la intervención se realizó en las lecciones de teoría, donde todos los estudiantes que asistieron recibieron la misma instrucción por parte de los profesores. A pesar de esto, cierto número de estudiantes inicialmente matriculados en el curso no asistieron a la mayoría de lecciones de teoría. La Tabla I presenta el número total de estudiantes matriculados y aquellos que asistieron a las lecciones de teoría, al menos en los 80% de su totalidad. Aunque es bastante evidente que la falta de asistencia puede sesgarse fácilmente con un pobre desempeño, pensamos que este era otro aspecto que

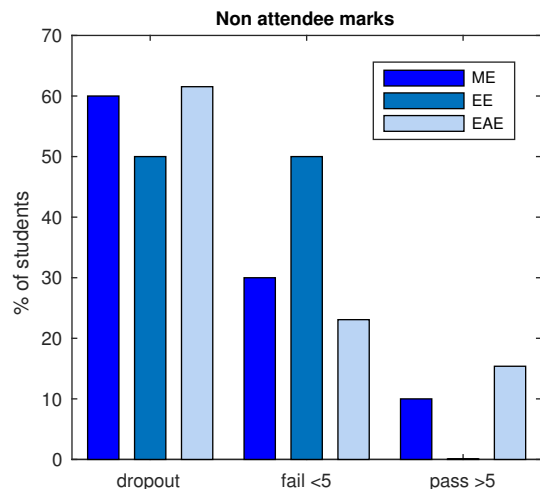


Figura 6. Distribución de calificaciones presentadas por los estudiantes que no asistieron habitualmente a las clases teóricas, y que por tanto no fueron considerados como participantes en el programa. ■ Estudiantes de Mecánica; ■ Estudiantes de Eléctrica; ■ Estudiantes de Electrónica y Automática.

podríamos incluir en el estudio. En consecuencia, evaluamos las diferencias con respecto a los estudiantes que participaron y asistieron a las lecciones semanales del curso. En este caso, la Fig. 6 presenta las calificaciones obtenidas por aquellos estudiantes inscritos en el curso pero que no asistieron a la mayoría de las lecciones en el aula de teoría. Como se podía intuir de antemano, la gran mayoría de ellos abandonaron sin llegar a realizar el examen final. Todos los grados de origen presentan un porcentaje similar de desestimiento (50-60%) entre los estudiantes que no asistieron semanalmente a las clases. Asimismo, un porcentaje notable de ellos no logró aprobar el curso (20-50%). Finalmente, el menor porcentaje de ellos representa la excepción que sí logró aprobar el curso (10-15%). Por lo tanto, es evidente que los estudiantes que participaron semanalmente asistiendo a clases de teoría y siguiendo el programa de aprendizaje, fueron aquellos que realmente tuvieron éxito en términos de rendimiento, pero también lograron un aprendizaje activo y robusto en electrónica conceptual y habilidades prácticas.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo ha presentado un programa de aprendizaje renovado para un curso de electrónica dentro del plan académico común a tres grados en ingeniería de la Universidad Miguel Hernández. Concretamente, el número de estudiantes que participaron en este programa fue de 184, sobre un total de 203 inicialmente matriculados en el curso. Dichos participantes provenían de los grados de origen en ingeniería: Mecánica, Eléctrica y Electrónica y Automática. La redefinición de la metodología tradicional ha consistido en la inclusión de osciloscopios USB para su uso durante las clases presenciales en aula de teoría (en el trabajo mencionados como laboratorios portátiles) durante las 15 lecciones teóricas programadas en el curso. Las lecciones teóricas se han rediseñado con actividades y ejercicios analíticos, adaptados para el complemento a las

explicaciones teóricas y analíticas mediante la comprobación y testeo práctica de circuitos reales con laboratorios portátiles durante la propia clase de teoría, avalando también la ejemplificación. Tales ejemplos siempre estuvieron representados por circuitos típicos de aplicación común en el mundo real de la ingeniería y la electrónica.

El objetivo principal consistió en proporcionar a los estudiantes una herramienta significativa para su aprendizaje y comprensión activa y sólida. Además, se buscaba la mejora en la adquisición de habilidades y competencias prácticas, con más lecciones en las que estuvieron en contacto con equipos de medida reales, además de las lecciones de laboratorio. La evaluación y validación del logro se han llevado a cabo mediante el análisis del desempeño de los participantes. Las calificaciones medias del curso actual revelan resultados satisfactorios, superiores a los de los cinco años académicos anteriores, en los que no se utilizó laboratorios portátiles. Además, el mayor porcentaje de estudiantes que logró aprobar el curso actual también demuestra una contribución positiva, más si cabe en contraste con los cinco años académicos anteriores. A su vez, y no menos importante, los resultados de un cuestionario específico proporcionan más información sobre los beneficios del programa. Los estudiantes reportaron amplia satisfacción personal en términos de comprensión gracias a la ayuda de laboratorios portátiles, pero sobre todo, los resultados demuestran ser mayores en términos de percepción, actitud hacia el programa y satisfacción general, en contraste con programas implementados durante los cursos académicos anteriores. Con ello se llega a la conclusión de que los estudiantes demuestran más confianza en sí mismos y en su comprensión de los conceptos electrónicos cuando se usan dispositivos reales como laboratorios portátiles durante la clase, en detrimento de otros recursos, como por ejemplo la simulación. También cabe destacar el aumento significativo de la autoconfianza que se deduce del menor nivel de desviación típica en todas las respuestas del cuestionario para el curso actual. Finalmente, también se analizaron los datos asociados a aquellos estudiantes que no asistieron habitualmente a las clases, concluyendo que existe una relación directa con el bajo rendimiento y el suspenso del curso..

Para concluir, se puede confirmar que esta propuesta resulta válida e interesante para el logro de aprendizaje activo en electrónica, no solo en términos de rendimiento asociado a los indicadores de calificaciones académico, sino también al sentido de percepción y autoconfianza con respecto a la comprensión del contenido y adquisición de habilidades prácticas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Conserjería de Educación de la Comunidad Valenciana mediante el proyecto AICO/2017/148, y por la Universidad Miguel Hernández mediante el proyecto INDICO 2019/2020-PIEU/2019/33.

REFERENCIAS

- [1] I. Iyoda and J. Belanger, "History of power system simulators to analyze and test of power electronics equipment," in *2017 IEEE HISTORY of*

- Electrotechnology Conference (HISTELCON)*, Aug 2017, pp. 117–120, doi: 10.1109/HISTELCON.2017.8535780.
- [2] S. J. Dickerson and R. M. Clark, “A classroom-based simulation-centric approach to microelectronics education,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 26, no. 4, pp. 768–781, 2018, doi: 10.1002/cae.21918.
 - [3] D. Valiente, L. Payá, S. F. de Ávila, J. Ferrer, S. Cebollada, and O. Reinoso, “Active learning program supported by online simulation applet in engineering education,” in *9th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, vol. 1, 2019, pp. 121–128, doi: 10.5220/0007916401210128.
 - [4] D. Valiente, Y. Berenguer, L. Payá, A. Peidró, and O. Reinoso, “Development of a platform to simulate virtual environments for robot localization,” in *INTED 2018, the 12th annual International Technology, Education and Development Conference*, Valencia, Spain, 2018, pp. 1232–1241, doi: 10.21125/inted.2018.0187.
 - [5] L. C. M. Schlichting, D. D. de Bona, G. S. Ferreira, and G. R. Alves, “The visir implementation process at ifsc - problems, obstacles and solutions,” in *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)*, June 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/TAEE.2018.8476004.
 - [6] H. Wen, “Exploration of virtual laboratory in power engineering courses,” in *2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Dec 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/PEDES.2018.8707666.
 - [7] M. Flores, L. Payá, D. Valiente, J. Gallego, and O. Reinoso, “Deployment of a software to simulate control systems in the state-space,” *Electronics*, vol. 8, no. 11, 2019, doi: 10.3390/electronics8111205.
 - [8] N. A. Yalcin and F. Vatansever, “A web-based virtual power electronics laboratory,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 24, no. 1, pp. 71–78, 2016, doi: 10.1002/cae.21673.
 - [9] A. Pozo Ruz and F. D. Trujillo Aguilera, “A web-based tool for a power electronics course,” in *2011 Promotion and Innovation with New Technologies in Engineering Education (FINTDI 2011)*, May 2011, pp. 1–6, doi: 10.1109/FINTDI.2011.5936417.
 - [10] U. Drogenik and J. W. Kolar, “Interactive power electronics seminar (ipes)-a web-based introductory power electronics course employing java-applets,” in *2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Proceedings (Cat. No.02CH37289)*, vol. 2, June 2002, pp. 443–448.
 - [11] W. Zheng, L. Feng, B. Liu, P. Fu, and J. Qiao, “Development of virtual laboratory application structure in android cellphone for distance learning,” in *2017 First International Conference on Electronics Instrumentation Information Systems (EIIS)*, June 2017, pp. 1–5, doi: 10.1109/EIIS.2017.8298575.
 - [12] L. Rakhmawati and A. Firdha, “The use of mobile learning application to the fundament of digital electronics course,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 296, no. 1, pp. 012–015, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/296/1/012015.
 - [13] J. D. Aguilar-Pena, F. J. Muñoz-Rodríguez, C. Rus-Casas, and J. I. Fernández-Carrasco, “Blended learning for photovoltaic systems: Virtual laboratory with pspice,” in *2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, June 2016, pp. 1–6, doi: 10.1109/TAEE.2016.7528366.
 - [14] I. Slaidins, “Blended learning and innovation in the education of electronics the case study of the riga technical university,” in *2017 27th EAAEIE Annual Conference (EAAEIE)*, June 2017, pp. 1–4, doi: 10.1109/EAAEIE.2017.8768675.
 - [15] E. Trotskovsky and N. Sabag, “Engineering students’ solutions to accuracy problems in analog electronics course,” in *Teaching and Learning in a Digital World*. Springer International Publishing, 2018, pp. 218–223, doi: 10.1007/978-3-319-73210-7.
 - [16] D. Sangam and B. K. Jesiek, “Conceptual understanding of resistive electric circuits among first-year engineering students,” in *2012 ASEE Annual Conference & Exposition*. San Antonio, Texas: ASEE Conferences, June 2012, pp. 25.339.1 – 25.339.11.
 - [17] E. Trotskovsky, N. Sabag, and S. Waks, “Students’ achievements and misunderstandings when solving problems using electronics models. a case study,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 2, pp. 104–109, 2015, doi: 10.1109/TE.2014.2331918.
 - [18] J. Martínez, S. Rosa, Liminana, A. Menargues, C. Nicolás, and F. Savall, “El circuito eléctrico simple. un modelo micro,” *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, vol. 92, pp. 30–37, 2018.
 - [19] J. Hormigo and A. Rodríguez, “Project based learning on industrial informatics: Applying iot to urban garden,” in *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)*, June 2018, pp. 1–9, doi: 10.1109/TAEE.2018.8476065.
 - [20] Z. Zhang, C. T. Hansen, and M. A. E. Andersen, “Teaching power electronics with a design-oriented, project-based learning method at the technical university of denmark,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 1, pp. 32–38, Feb 2016, doi: 10.1109/TE.2015.2426674.
 - [21] M. A. Perales, F. Barrero, and S. L. Toral, “Learning achievements using a pbl-based methodology in an introductory electronics course,” *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 10, no. 4, pp. 296–301, Nov 2015, doi: 10.1109/RITA.2015.2486438.
 - [22] Digilent. (2020) Digilent USB Scopes Instruments and Circuits. [Online]. Available: <https://store.digilentinc.com/usb-scopes-instruments-circuits/>
 - [23] Digilent. (2020) Analog Discovery. [Online]. Available: <https://analogdiscovery.com/>

Using Simulink HDL Coder to implement a Fingerprint Recognition Algorithm into an FPGA

Rosario Arjona, and Iluminada Baturone
Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE-CNM)
Universidad de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Seville, Spain
{arjona, lumi}@imse-cnm.csic.es

Abstract — This work describes a model-based hardware design flow which uses Simulink HDL Coder and Xilinx tools to implement a fingerprint recognition algorithm into a Virtex-6 FPGA. Students can learn how this automated hardware design flow reduces the time to create a prototype since only the high-level description is required. In addition, the fingerprint recognition application allows illustrating how typical processing blocks employed for image processing are used in the context of biometrics security.

Keywords—*fingerprint recognition; image processing; automated hardware design; FPGA implementation.*

Development of an experimental micro smart grid with renewable sources and energy storage through final Electronics Engineering projects

Sergio Junco

LAC, Laboratorio de Automatización y Control. FCEIA, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
UNR, Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
sjunco@fceia.unr.edu.ar

Daniel Alba

LAC, Laboratorio de Automatización y Control. FCEIA, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
UNR, Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
alba@fceia.unr.edu.ar

Joaquín Ezpeleta

LAC, Laboratorio de Automatización y Control. FCEIA, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
UNR, Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
ezpeleta@fceia.unr.edu.ar

Javier Cabello

LAC, Laboratorio de Automatización y Control. FCEIA, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
UNR, Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
jcabello@fceia.unr.edu.ar

Abstract—This paper addresses the involvement of Electronic Engineering students in the development of an electric micro smart grid equipped with renewable energy sources and storage components through the execution of their final engineering projects as part of the regular curriculum. First, the pre-defined overall target smart grid is introduced, followed by its current state of development. Then, the context of the students' participation is presented, followed by the description of their input as modular contributions to a sequentially conceived process leading to the final target system. The conclusions stress the learning-by-doing feature of the students' involvement, that not only helps to consolidate the theoretical, methodological and practical skills previously acquired but also puts the students in contact with new technologies and engineering problems and systems, and provides abilities regarding teamwork and participation in relatively long-term project.

Keywords— *Micro smart grids, electronic power converters, embedded control systems, CAN communication, learning-by-doing.*

Continuous Summative Assessment Sessions in Vocational STEM Education

Gordan Durovic
University of Rijeka
Rijeka, Croatia
gdurovic@uniri.hr

Martina Holenko Dlab
University of Rijeka
Department of Informatics
Rijeka, Croatia
mholenko@inf.uniri.hr

Natasa Hoic-Bozic
University of Rijeka
Department of Informatics
Rijeka, Croatia
natasah@inf.uniri.hr

Abstract—Continuous approach to learning is essential for mastering course content in STEM education. Research results regarding students' learning habits show that students usually learn in a non-continuous way, adopting surface instead of a deep approach to learning. Lack of students' motivation was identified as one of the causes that contribute to the observed problem. In order to motivate students for continuous learning, weekly organized summative assessment sessions were introduced for vocational STEM students in higher education. These sessions were conducted throughout the semester within a typical STEM course. Obtained research results showed that this approach to summative assessment encouraged the majority of students to start to learn continuously. Also, students were motivated to solve more math-based tasks during the preparation for the exam than they would usually do. Encouraging students to learn in a continuous way affected their motivation, thus helping them to move from the surface toward a deep approach to learning.

Keywords—ELARS, formative assessment, continuous summative assessment, STEM, online evaluation system

Household Appliances Identification: An integrative workshop for the Electrical Engineering degree

Alvaro Gomez, Pablo Massafferro, Camilo Marino, Ignacio Irigaray, Andres Cardozo and Alicia Fernandez

Instituto de Ingenieria Electrica, Facultad de Ingenieria - Universidad de la Republica

fagomez, pmassafferro, cmarino, irigaray, acaradozo, aliciag@fing.edu.uy

Abstract—In the Electrical Engineering degree , the integration of theoretical and practical knowledge is essential. Throughout the degree , there must be instances where the students can face specific problems and test their learning. With this in mind, an integrative workshop is implemented in the third year that seeks to strengthen skills such as: analysis and design of signal conditioning circuits, designing and printing circuits, signal acquisition and processing, pattern recognition and classification, integration of a system. The problem of the identification of household appliances from consumption records presents multiple challenges suitable to develop all the desired skills and also for the initiation to research.

Index Terms—Integrative workshop, Electrical Engineering degree, load identification



Session TS-2B

Trends in Education III

Sensores remotos para el monitoreo de generación y uso de energía renovable

Gastón César Saez de Arregui
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
gsaez218@gmail.com

Miguel Ángel Plano
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
mplano2001@gmail.com

Federico Lerro
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
flerro2@yahoo.com.ar

Juan Manuel Márquez
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
m_juanm@yahoo.com.ar

Jorge Luis Lassig
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Comahue
Rosario, Argentina
lassigj@yahoo.com.ar

Sonia Beatriz Concari
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
sconcarib@yahoo.com.ar

Susana Teresa Marchisio
Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
timbucorreio@gmail.com

Abstract— Los sistemas de aprovechamiento solar, tanto térmicos como fotovoltaicos y los aerogeneradores conforman soluciones idóneas para proveer energía proveniente de fuentes no contaminantes. Estos equipos son instalados de manera fija, de modo que examinar el estado de los mismos requiere desconectarlos y trasladarlos a un laboratorio donde se pueden efectuar ensayos, con los consecuentes costos y pérdidas de horas de uso. Frente a esto, el desarrollo de dispositivos electrónicos de monitoreo remoto, dentro del marco de los laboratorios remotos de experimentación, permite evaluar las características del recurso energético, ciertas condiciones de operación y hábitos de utilización para asegurar un uso eficiente de estas tecnologías. En este trabajo se presentan avances de tres investigaciones desarrolladas por los propios autores dentro del campo de los laboratorios remotos de monitoreo y experimentación, como ejemplo de desarrollos electrónicos con fines académicos, con el objetivo de mostrar cómo desarrollar estas tecnologías para evaluar aspectos de la producción y uso de equipos para obtención de energía proveniente de fuentes renovables: solar térmica, solar fotovoltaica y eólica.

Keywords— energías renovables, enseñanza de la ingeniería, laboratorios remotos, física electrónica

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento científico-tecnológico actual impulsa la economía de los países como nunca antes. En paralelo con esto, la demanda de energía se incrementa, y un desarrollo sostenible exige poner la mira en la eficiencia de los procesos y equipos de generación, el ahorro y eficiencia energética, así como el fomento del uso de fuentes renovables de energía.

En particular, los sistemas de aprovechamiento solar térmicos y fotovoltaicos y los aerogeneradores son dispositivos idóneos para proveer energía de fuentes no contaminantes. Estos equipos son instalados de manera fija, de modo que el examinar el estado de los mismos requiere desconectarlos y trasladarlos a un laboratorio donde se pueden efectuar ensayos, con los consecuentes costos y pérdidas de horas de uso. Frente a esto, el desarrollo de dispositivos electrónicos de monitoreo remoto, dentro del marco de los

laboratorios remotos de experimentación, permiten evaluar las características del recurso energético, ciertas condiciones de operación y hábitos de utilización para asegurar un uso eficiente de estas tecnologías.

Los sistemas de adquisición remota de datos son de uso frecuente en la industria. Con el avance en el conocimiento, de métodos y técnicas asociados al campo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se posibilitaron cambios significativos en la práctica educativa. En ese marco, los laboratorios remotos permitieron ampliar el ámbito de aplicación de la práctica en carreras de ingeniería hacia la educación a distancia, dando a los estudiantes la posibilidad de realizar experimentación más allá del aula física de la universidad y en cualquier momento del día. [1].

En este escenario confluyen recomendaciones y propuestas, plasmadas en documentos y publicaciones de organismos, consejos o asociaciones profesionales y académicos y comunidad científica en todo el mundo a través de los cuales se reflejan diversos modos de enfrentar desde lo educativo, los desafíos históricos y adelantarse a las necesidades sociales, con objetivos de desarrollo sostenible. En el contexto europeo se esgrime que la educación en ingeniería debe cambiar tanto para atraer a nuevos grupos de estudiantes como para proporcionar una formación apropiada para el desempeño en la sociedad futura [2]. Con una comparativamente mayor penetración de tecnologías emergentes en los espacios formativos que en Iberoamérica, destacan como metodologías, el aprendizaje por proyectos [3]; el basado en problemas [4], el cooperativo [5], a través de problemas en el lugar de trabajo [6], o en colaboración entre universidades e industria [7], así como el aprendizaje del emprendedorismo [8]. Mientras que, en Iberoamérica, tanto la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) como el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) de Argentina, exponen acerca de cambios en el mundo y en las sociedades, con mención a “era digital”, “sostenibilidad”, “globalización 4.0” [9], planteándose como problemas a resolver en la formación de ingenieros, las relaciones entre la universidad y la industria, la

gestión de la sostenibilidad, el desarrollo tecnológico y la innovación. Lo anterior deja expuesta la necesidad de generar recursos y estrategias para favorecer la construcción del vínculo del futuro ingeniero con los desafíos históricos, las prácticas profesionales y las tecnologías emergentes.

En la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), Universidad Nacional de Rosario (UNR), Argentina, lo anterior motivó la creación, en 2008, del Área de Laboratorios Remotos dependiente de la Escuela de Posgrado y Educación Continua (EPEC), para brindar servicio a toda la comunidad educativa, de grado y de posgrado. Desde entonces, los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la FCEIA tienen a su disposición el Laboratorio Remoto de Física Electrónica. Este laboratorio permite ensayar dispositivos semiconductores (diodos rectificadores, LED, transistores bipolares y de efecto de campo y fototransistores) de manera de obtener su curva característica [10]. En el año 2012 se adicionó otro laboratorio remoto que permite ensayar a distancia calefones solares mediante programas de uso típico, de manera de obtener el rendimiento del mismo. Este último, denominado “Laboratorio Remoto Móvil de Energía Solar Térmica”, obtuvo premios destacados [11]. A partir de la participación de la FCEIA-UNR en un proyecto de cooperación internacional en el marco del programa Erasmus+, se sumó un nuevo laboratorio remoto para la enseñanza de circuitos eléctricos y electrónicos: el VISIR (Virtual Instruments Systems In Reality) [12], empleado desde FCEIA, con fines educativos, por un significativo número de estudiantes y docentes de varias instituciones.

En este trabajo se presentan avances de tres investigaciones dentro del campo de los laboratorios remotos de monitoreo y experimentación, desarrollados en el marco de dos tesis de Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible y una tesis Doctoral en Ingeniería llevadas a cabo en la FCEIA-UNR, por autores de este trabajo. Estos laboratorios constituyen nuevos desarrollos disponibles para su empleo con fines académicos en el grado de Ingeniería Electrónica de la UNR. En este contexto, se busca acercar a los estudiantes al conocimiento involucrado en el desarrollo y uso de la tecnología de laboratorios remotos para evaluar aspectos de la producción y uso de equipos de generación de energías renovables: solar térmica, solar fotovoltaica y eólica, favoreciendo la construcción de vínculos con los escenarios laborales. Desde nuestra perspectiva, lo anterior resulta de gran importancia, en tanto no sólo amplía las vías de acceso al conocimiento, sino que también representa una motivación para alentar a los futuros profesionales al diseño y la construcción de soluciones innovadoras para estudio y análisis de variables de campo sin la necesidad de encontrarse in situ.

La primera investigación abarca el estudio del comportamiento social relacionado a la explotación térmica de la energía solar en hogares. La utilización del agua caliente sanitaria en un hogar es un insumo primordial. El sol como fuente energética para calentar agua es intermitente y con dificultades para predecir su disponibilidad en tiempo y cantidad. Es por esto, que los equipos están dotados generalmente con dispositivos eléctricos que permiten suplir momentáneamente la ausencia del recurso solar como en momentos de fuertes lluvias. A fin de conocer hábitos de uso y establecer campañas de sensibilización y capacitación en la explotación de calefones solares térmicos, se propone la evaluación remota de las variables: volúmenes y temperatura de agua, momentos del día, y tiempos de utilización del

sistema de calefacción, lo cual permitirá conocer hábitos de uso y establecer campañas de sensibilización y capacitación en la explotación de estos equipos.

El segundo estudio incluye la caracterización del funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos con operación in situ, a través de la medición remota de la radiación solar bajo diferentes ángulos del plano del colector, así como de diversas variables eléctricas con el objetivo de determinar la mejor condición de instalación para una determinada localización en cualquier parte del territorio argentino pudiendo contrastar los resultados obtenidos experimentalmente con las diferentes contribuciones de la bibliografía al respecto.

El tercer trabajo comprende el estudio del viento en ambientes urbanos de compleja rugosidad. Se ha diseñado para ello un novedoso equipo que permite evaluar el movimiento del aire tanto en el plano horizontal como en el vertical y la determinación de su orientación, con capacidad de mediciones múltiples de forma cuasi simultánea en el espacio acotado de la azotea de un edificio.

La información a partir de estas investigaciones permite determinar las mejores condiciones de operación y de explotación de los recursos energéticos renovables bajo estudio, conforme a tres aspectos: sociales, energéticos y tecnológicos. Más allá de proporcionar información relevante para la toma de decisiones, y además de lo ya mencionado relativo a las posibilidades para la enseñanza en el grado de Ingeniería Electrónica, estos dispositivos de monitoreo remoto se están empleando en el contexto de las prácticas experimentales a nivel de posgrado, en la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible (FCEIA-UNR). Los laboratorios referidos proveen a los estudiantes herramientas de ensayo que arrojan resultados de los fenómenos físicos presentes (conservación y transferencia de energía, funcionamiento de celdas fotovoltaicas, movimiento de fluidos) más confiables que los obtenidos con modelos matemáticos simulados en computadora

II. PRIMER ESTUDIO: SISTEMA REMOTO DE MONITOREO DEL USO DE CALEFONES SOLARES

La demanda por parte de la población de agua caliente sanitaria (ACS) es una necesidad primordial que se satisface fundamentalmente con el uso de combustibles fósiles como el gas natural o envasado. La utilización de estos productos representaron el 55% de las importaciones de gas en la República Argentina al año 2015 [13]. Por otro lado hay vastos sectores, que debido a la condición social/económica muy baja en la que se encuentran, no acceden al mismo; otros viven muy alejados de la distribución de estos recursos, así nos encontramos que gran parte de la población no puede acceder a este bien básico de subsistencia. Otro factor de no menor importancia es que el uso de los combustibles fósiles supone el 60% de la emisión de gases de efecto invernadero [14]. Una de las alternativas a esta compleja situación es el aprovechamiento de la energía radiante del sol para calentar agua con fines sanitarios. En todo el territorio argentino se están realizando instalaciones de calefones solares como medio de producción de ACS, especialmente en poblaciones o zonas donde no llegan los combustibles tradicionales o estos son costosos. Muchas veces estos emprendimientos son apoyados total o parcialmente por el Estado en sus distintos estamentos –nacional, provincial o municipal- con planes de pago a largo plazo o forman parte del conjunto otorgado en

una vivienda social. La convicción de las autoridades gubernamentales y la esperanza de los usuarios es que estos sistemas cubran gran parte o la totalidad de las necesidades de ACS, pero para llegar a esta meta dos cuestiones deben cumplirse: el equipo debe ser diseñado e instalado acorde al lugar donde será colocado y la forma de utilización debe ser la más adecuada a las capacidades del mismo, adaptando los hábitos de uso al máximo posible a un funcionamiento óptimo.

En la actualidad estos equipos son sometidos a ensayos de rendimiento a través de plataformas como las que cuenta el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) u otras que se han desarrollado en el marco de proyectos de investigación vinculados a la institución (FCEIA-UNR) [11], que cumplen la misión de evaluarlos previamente a su instalación y en condiciones de uso ideales. Hoy en día se observa que los equipos son instalados, pero luego no se realiza ningún tipo de seguimiento, no sólo desde la perspectiva del rendimiento en condiciones de uso reales sino tampoco en cuanto a su durabilidad y mantenimiento. Hace algunos años, el Estado de la provincia de Santa Fe incorporó calefones solares en las viviendas sociales de un barrio de la ciudad norteña de Villa Ocampo; estos equipos cuentan con la característica dual: calentamiento mediado con energía solar y además tienen un módulo para calentamiento eléctrico. Posteriormente, entre las autoridades surgió la inquietud de hacer un relevamiento y monitoreo del uso de los mismos; la idea era conocer cuánta energía térmica era obtenida a partir de la solar y cuánta proveniente de la energía eléctrica y si eso podía modificarse. A partir de esto y en convenio con la UNR se desarrolló un equipamiento electrónico con capacidad de medir las variables de entorno fundamentales relacionadas con el uso del calefón solar (temperatura ambiente, cantidad de agua extraída, temperatura del agua a la entrada y a la salida, radiación y otras), así como procesar los valores y poner la información obtenida de ese modo, a disposición de los interesados, a través de un centro de monitoreo.

Para tener acceso al sistema calefón solar emplazado en una vivienda familiar que puede estar en cualquier lugar del territorio, y para no invadir la privacidad de la familia, se requiere como condición indispensable que el acceso a los datos sea realizado en forma inalámbrica y capaz de cubrir grandes distancias. Además, para no generar costos excesivos de instalación del equipo, debe alterar lo menos posible el circuito de conexión del calefón.

El centro de monitoreo debe ser capaz de mostrar los datos de las variables colectadas por el equipo de campo a lo largo del tiempo a través de la web en cualquier dispositivo digital de uso habitual. En este sentido el servicio de monitoreo y la información obtenida serían brindados a las instituciones educativas, entidades gubernamentales, fabricantes, instaladores y/o usuarios interesados, de manera que sea un aporte al conocimiento y a las buenas prácticas de uso.

El equipamiento electrónico elaborado e integrado a los laboratorios remotos de la FCEIA podrá ser utilizado por los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la facultad con el fin de mostrar soluciones viables en el desarrollo de laboratorios remotos, así como ejemplos de integración de diferentes tecnologías: sistemas digitales, microcontroladores, sistemas de comunicación e instrumentación, entre otras. A continuación se hace una descripción del proceso desarrollado en el estudio.

A. Etapas del diseño

Las etapas que se concretaron para el diseño del sistema remoto de monitoreo del uso de calefones solares fueron las siguientes:

- Recopilación de información vinculada a la temática “energía solar térmica”: diálogo con actores del área, búsqueda de investigaciones, metodologías de ensayo, recopilación, estudio teórico y relevamiento normativo vigente.
- Definición del problema: variables a medir, metodología de la toma de datos, tecnología de comunicación y tecnología de monitoreo.
- Diseño de la solución: esquema general, productos a utilizar, diseño de hardware y software

Desarrollo de la solución: selección de proveedores, compilación de material, capacitación, armado del hardware, programación, pruebas y ajustes finales.

B. Definición del problema

Siendo el interés del estudio el monitoreo del uso de calefones solares, las variables fundamentales del estado del sistema de calentamiento de agua a ser recolectadas seleccionadas son: temperatura ambiente, temperatura del agua a la entrada y salida del calefón, radiación, volumen e intervalos de tiempo de agua consumida, registro del momento de encendido y apagado del calentador eléctrico. Estos datos debían ser registrados en forma periódica con una resolución suficiente en función del sistema bajo observación. Asimismo, se definió la estructura general del hardware, que consta de dos estaciones de trabajo:

- Estación remota colectora de datos (equipo de campo)
- Estación fija procesadora datos y servidora de datos finales vía web

Ambas estaciones están conectadas mediante comunicación inalámbrica basada en la red de telefonía celular con servicio de telefonía móvil GPRS (General Packet Radio Service). La estación remota realiza las mediciones en forma sincrónica y almacena los datos en una memoria temporal, que será descargada en los momentos en que se establezca la comunicación con la estación local. A su vez, los datos ya procesados por la estación fija serán puestos a disposición, de manera gráfica y tabulada, mediante la red de Internet con un servidor web instalado en la misma. De esta manera el monitoreo se realiza a través de navegadores que tienen acceso permitido a dicho servidor.

Los usuarios que monitorean también son capaces de realizar un conjunto de acciones y/o configuraciones sobre el proceso de medición; esta función se logró mediante controles insertados en las mismas páginas web de observación.

C. Implementación de Hardware y Software del sistema

La estación remota de medición está constituida por una placa controladora cuyo centro de procesamiento está realizado en base a un circuito integrado programable o microcontrolador de la empresa Microchip.

Estos dispositivos al ser programados establecen el flujo de trabajo del sistema y además, dado que incorporan, en el mismo chip, módulos adicionales, realizan funciones específicas tales como adquisición de datos analógicos y

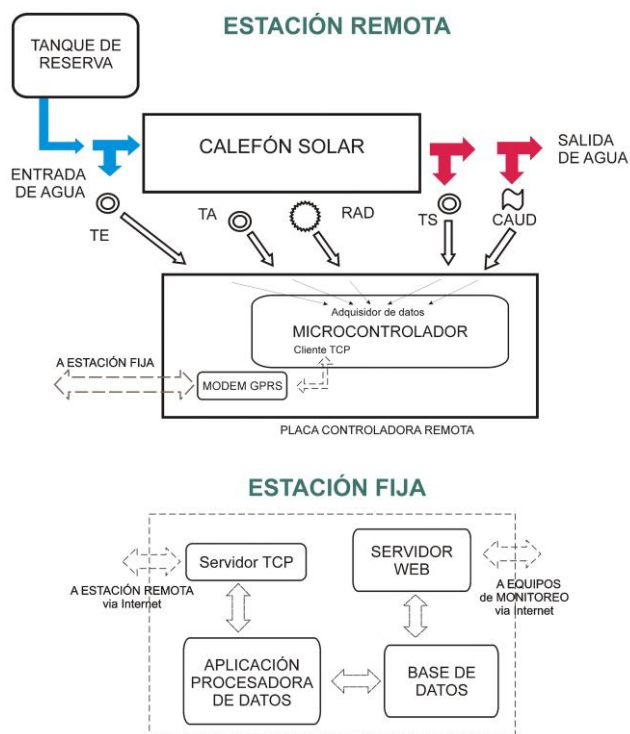


Fig. 1. Estructura y partes de la estación remota colectora de datos y de la estación fija procesadora de datos y servidor de datos finales vía web.

digitales, almacenamiento temporal de las muestras, entre otras.

En la Fig. 1 se representan la estructura y partes constitutivas de la estación remota y de la estación fija.

La placa se completa con un modem GPRS SIM800 de SIMCOM, que establece una comunicación por la red de telefonía celular que envía los datos a la estación fija. Dicha comunicación se realiza mediante un protocolo de control de transmisión (TCP) cliente-servidor, cumpliendo la presente estación, la función de cliente. La estación fija está desarrollada en un equipo PC Windows Server 2008 que por un lado tiene una aplicación, programada en el framework de Microsoft .NET, que lo configura como servidor TCP para

recibir los datos de la otra estación. La misma aplicación comprueba, procesa y almacena los datos en una base implementada en Microsoft Access. La otra función de este equipo es constituirse en un servidor web, que mediante un acceso a la base de datos citada, muestra la información pedida por el usuario a cargo del monitoreo.

D. Puesta en funcionamiento y resultados

El equipo fue terminado a mediados del año 2019 y está instalado en un calefón solar perteneciente al laboratorio de energía de la FCEIA en modo prototipo para ser ubicado en campo a fines del presente año. El calefón del laboratorio tiene dos diferencias respecto de uno incorporado a una vivienda normal: no cuenta con el consumo real de una vivienda habitacional y además no posee sistema de calefacción eléctrico. Estas dos limitaciones fueron fácilmente superadas con temporizadores que controlan una electroválvula simulando la apertura de un grifo y un relé que hace lo propio con la conexión eléctrica del calefactor. Ya se ha iniciado la toma de muestras de las variables citadas en el apartado B, y en la Fig. 2 se visualiza la actividad de un día tipo.

Las barras en rojo oscuro indican el momento de encendido del calefactor, la línea en verde oscuro el consumo creciente de agua, las restantes trazas representan la evolución de la temperatura ambiente, la temperatura de entrada y salida de agua y la radiación incidente.

III. SEGUNDO ESTUDIO: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS - MONITOREO IN SITU

Las características funcionales de los paneles solares fotovoltaicos son dadas por las empresas que los fabrican y/o comercializan, pero las condiciones de uso real a las que los someten los usuarios, pueden no ser las más adecuadas. Para optimizar diseños e incrementar rendimientos se requiere realizar mediciones sobre el panel fotovoltaico en situaciones de uso efectivo. A estos efectos fue desarrollado el dispositivo electrónico que se muestra en la Figura 3

Este dispositivo electrónico móvil es capaz de interactuar con paneles solares fotovoltaicos y el medioambiente circundante, con capacidad de almacenar y/o transmitir valores de variables físicas. Este dispositivo es capaz de realizar mediciones automáticas de campo conformes a un

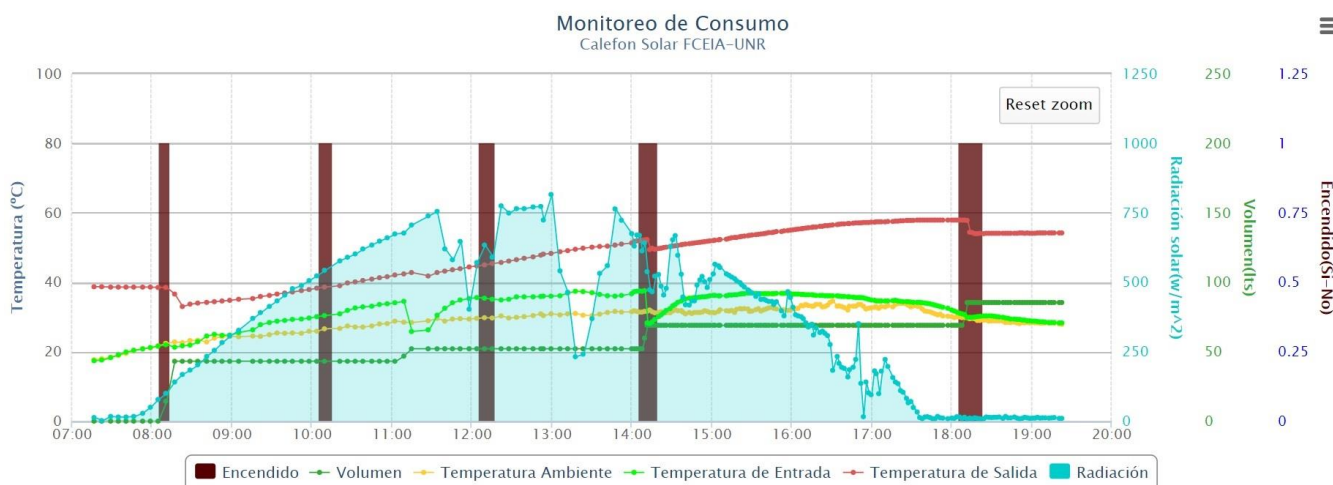


Fig. 2. Registro de las variables de interés del día 25/10/2019

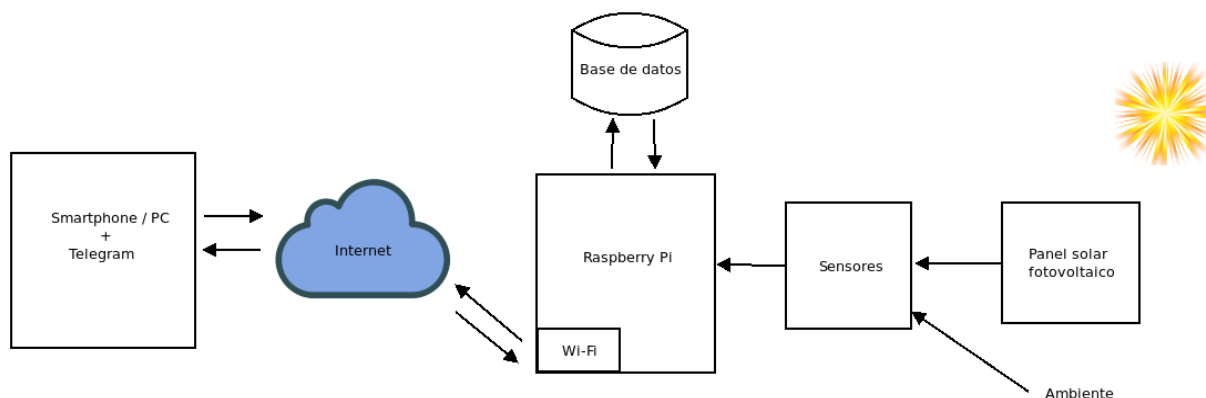


Fig. 3. Esquema del dispositivo, sensores y conexiones

protocolo de ensayos y obtener así información tanto de valor académico como para la toma de mejores decisiones al momento de explotar esta tecnología.

El dispositivo se basa en una placa SBC (Simple Board Computer) Raspberry Pi con conexión wifi, corriendo un sistema operativo Linux Raspbian. La Raspberry Pi es una mini computadora de bajo costo desarrollada para estimular la enseñanza de la programación. Posee un procesador con arquitectura ARM y funciona con sistemas operativos GNU-Linux. Consta de un sistema de entrada y salida digitales de propósito general; su comportamiento (incluyendo si es un pin de entrada o de salida) se puede controlar por el usuario en tiempo de ejecución. Esta microcomputadora no posee hardware dedicado al procesamiento de señales analógicas, por lo cual para dicha función se requiere la asistencia de un módulo externo conversor A/D a través de un conversor conversor analógico/digital como los incluidos en un microcontrolador.

El software de esta solución está realizado mediante el lenguaje Python. Este es un lenguaje de programación interpretado, multiparadigma, con una comunidad de usuarios muy activa y una gran variedad de librerías que simplifican la programación y permiten conectar el mundo digital con el mundo físico mediante la electrónica y la programación, persistiendo los datos de campo en una base de datos MySQL.

En este estudio se utilizaron diversos sensores para medir la temperatura del panel en funcionamiento y la temperatura ambiente, sensores de corriente y tensión entregada por el panel y un solarímetro para medir la radiación solar incidente.

La comunicación remota se realiza a través de Internet mediante la red Telegram. Esta es una aplicación de mensajería móvil muy similar a WhatsApp, sin embargo, tiene peculiaridades que la hacen muy potente. Una de estas, es ser una plataforma abierta que dispone de una API para que aplicaciones de terceros se conecten con la red.

Cada usuario de la aplicación, luego de ser autorizado, puede pedir, mediante el uso de comandos predefinidos, los diferentes valores registrados en tiempo real como también gráficas obtenidas a partir de los datos que se han ido procesando y almacenando.

La curva característica de un panel fotovoltaico, también llamada curva de intensidad-voltaje (curva I-V), representa los valores de tensión y corriente, medidos experimentalmente, de un panel fotovoltaico sometido a unas determinadas condiciones constantes de insolación y temperatura (Fig. 4).

Variando la resistencia externa de carga desde cero a infinito, se pueden medir diversos valores de pares (I-V) para una determinada temperatura e insolación que, una vez almacenados en la base de datos, permiten que se obtenga la curva característica del panel solar fotovoltaico en esas condiciones.

También es posible visualizar la influencia de las variaciones de temperatura y de insolación en la curva característica.

Mediante el dispositivo y procedimiento descritos, es posible realizar las mediciones evitando los altos costos operativos de desinstalación, traslado y reinstalación del equipo solar fotovoltaico, además de la interrupción de la generación por parte de dicho equipo hasta su reinstalación.

La información obtenida puede ser utilizada para analizar el comportamiento del panel solar fotovoltaico en el sitio en el que el mismo está instalado en diferentes condiciones de operación a fin de evaluar su desempeño.

IV. TERCER ESTUDIO: DESARROLLO DE UN MÉTODO DE MEDICIÓN TRIDIMENSIONAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN AMBIENTES URBANOS COMPLEJOS

La energía eólica es un recurso que no ha sido aun profusamente explorado en ambientes urbanos, aun cuando en Argentina, el viento es un recurso de gran potencial [15]. Desde los aspectos de diseño y operación de las turbinas hasta la caracterización del recurso, son cuestiones a estudiar en condiciones más complejas que las presentes en los parques eólicos de alta potencia. Por ello, investigar métodos más eficientes para realizar mediciones eólicas urbanas, es un desafío actual a ser afrontado.

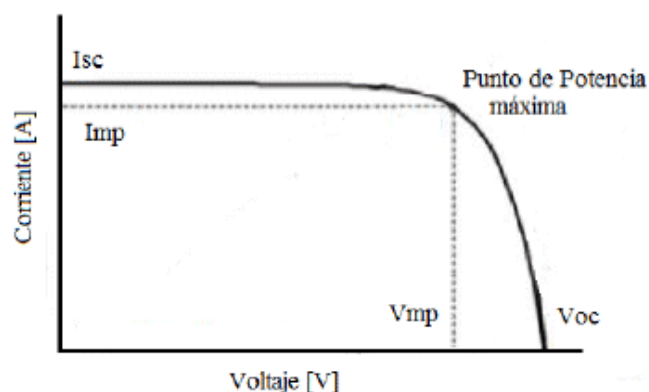


Fig. 4. Curva característica de una celda fotovoltaica sometida a radiación solar constante

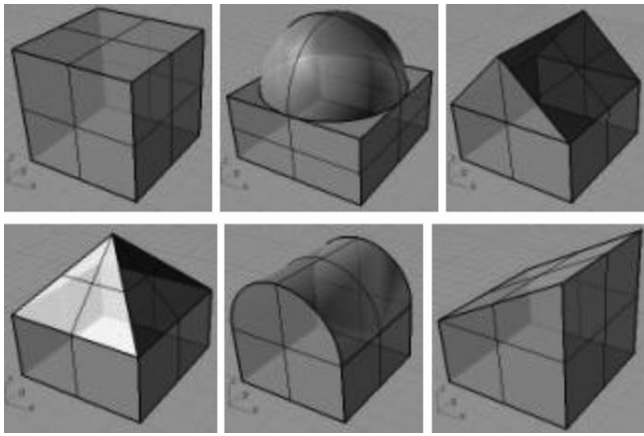


Fig. 5. Diferentes formas de techo modeladas que conforman la rugosidad del ambiente urbano.

Sobre los techos de los edificios el flujo de viento es muy turbulento; se desarrollan fuertes vórtices, por lo que se requiere evaluar las tres componentes de la velocidad del viento, y además registrarla en varios puntos del lugar de emplazamiento del generador eólico, lo cual no es posible lograr con sistemas de medición convencional. En la Fig. 5 se muestran modelos de formas de techos que representan la rugosidad del ambiente urbano.

A. Estudios preliminares

Como una primera aproximación al estudio podemos citar resultados arrojados por simulaciones computacionales de flujo de aire, como el trabajo llevado adelante por Lassig y su equipo [16], en el que se simuló el comportamiento del viento en contacto con diferentes edificios. Seguido de esto, se construyeron maquetas a escala y se las sometió a ensayos en túnel de viento para analizar y contrastar los resultados obtenidos en las simulaciones computacionales.

En las Fig. 6 y 7 se reproducen imágenes en dos dimensiones de la simulación de flujo de viento sobre edificios

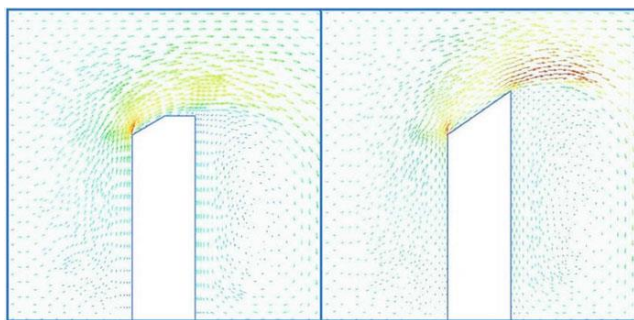


Fig. 6. Patrón de flujo en techos inclinados simulado empleando el programa 2D CFD

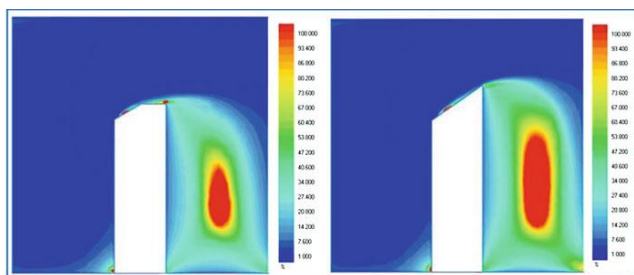


Fig. 7. Baja intensidad de turbulencia en ambos techos inclinados

de techo inclinado y zonas de turbulencia correspondientes, respectivamente, obtenidas con el programa 2D CFD. La Fig. 8 muestra fotografías obtenidas del túnel de viento para distintas configuraciones de techos.

Si bien estos estudios arrojan importantes resultados, resulta de interés desarrollar un método que permita escanear los vectores de viento en un volumen determinado sobre la terraza de un edificio real, para poder estudiar la componente fluidodinámica del mismo sobre ambientes urbanos complejos in situ y obtener resultados de campo experimental.

En este estudio se propone el desarrollo de un nuevo sistema de medición del viento, conformado por un conjunto de micro anemómetros y micro veletas, y un sistema electrónico de control y gestión de datos que permita obtener y mantener en el tiempo la nube de puntos obtenida.

B. Sistema de medición propuesto

El sistema para obtener la nube de vectores de velocidades de viento está conformado por dos unidades que trabajando en conjunto logran los datos de campo, sumado a un conjunto de 24 micro estaciones eólicas compuestas por dos anemómetros (uno para el plano horizontal y otro para el vertical) y una veleta que indica la dirección del viento. Es decir que se cuenta con una totalidad de 72 instrumentos que son dispuestos en un prisma de base cuadrada de 1 m de lado por 3 m de alto encerrando un volumen de 3 m³. En cada una de las aristas del prisma y a la mitad de cada lado de este, se colocan columnas de acero muy delgadas que contienen las micro estaciones de medición. Estas se instalan a 1, 2 m y 3 m de altura, completando así las 24 estaciones (8 por piso). Cada columna posee un controlador electrónico construido en base al microcontrolador ARM Cortex M3 de ST Electronics STM32F103 de 32 bits el que cuenta con suficientes canales conversores A/D como para medir los 9 instrumentos que tiene cada columna. Por lo dicho, la estación de campo cuenta con 8 controladores que gestionan las mediciones en cada columna, y transmiten esos datos a una estación central.

La estación central está compuesta por un microcomputador Raspberry Pi.

Esta es la encargada de gestionar y almacenar localmente las mediciones de campo; genera las señales de arranque y detención de las mediciones proveyendo sincronismo al

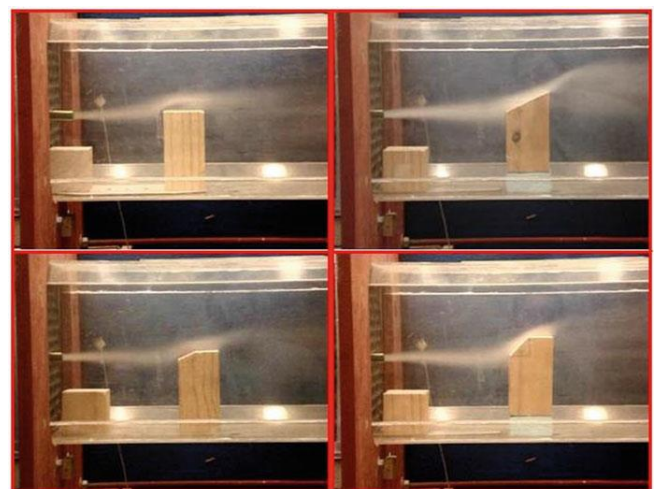


Fig. 8. (Izquierda arriba) Techo horizontal, donde se observa el área de recirculación próxima al techo. En las otras tres figuras, la inclinación del techo de sotavento elimina esa zona de recirculación

sistema y guardando la nube de valores bajo un motor de base de datos.

La estación se conecta de forma alámbrica a los controladores de columnas y por wifi a la red Internet para poder ser accedida a distancia. Una aplicación web embebida en esta estación permite ajustar parámetros y monitorear resultados.

Esta nube de puntos de los vectores de viento es la base para analizar qué sucede con este recurso energético en ambientes urbanos instante tras instante, información útil

que, en conjunto con los estudios previos de Lassig y otros, permitirá caracterizarlo con más detalle, diseñar algoritmos de predicción más precisos y proveer valiosa información para tomar mejores decisiones.

V. EMPLEO DE LAS PROPUESTAS DESARROLLADAS

En la asignatura Laboratorio de Energía de la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible –carrera de la Universidad Nacional de Rosario–, a cargo de dos de los autores del presente trabajo, está siendo implementada una actividad experimental –trabajo práctico mediante [17]– consistente en un ensayo de rendimiento energético estandarizado de un calefón solar. A través de dicha experimentación –en funcionamiento las veinticuatro horas los siete días de la semana–, los estudiantes pueden realizar una evaluación de la relación entre la energía radiactiva colectada por el calefón y la energía térmica producida por éste en distintos momentos del año. Esta actividad fue resuelta a través de las herramientas y características propias que provee un laboratorio remoto (libertad de modificar, sencillez de manejo, resguardo de equipamiento, amplitud horaria de trabajo, etc.).

Después de varios años de ejecución de la actividad se ha comprobado por parte de los docentes la eficacia y comodidad de dicha metodología, por lo cual es intención de los autores complementar a futuro dicha actividad con otras similares que abarquen otros aspectos y otros campos de las energías renovables, ampliando las posibilidades de uso de los equipamientos descritos.

Por último, es sabido que la construcción de estos dispositivos requiere poner en juego conocimiento del campo de la Electrónica de diversas áreas –sistemas digitales, microcontroladores, protocolos y módulos de comunicación, mediciones, entre otras. Estimamos que en la medida que los procesos de diseño y las soluciones implementadas sean puestas a disposición del alumnado de la carrera, constituirá un aporte valioso al desarrollo de futuros trabajos similares. Es por esto que una vez alcanzada la etapa de puesta en funcionamiento de los mismos serán difundidos entre las áreas de interés de la propia carrera.

VI. CONCLUSIONES

Han sido presentados estudios correspondientes a tres desarrollos tecnológicos en el área de los laboratorios remotos que posibilitan obtener información relevante sobre generadores de energías renovables para la toma de decisiones sobre el diseño de los equipos y el uso de los mismos.

Los dispositivos en desarrollo realizarán un monitoreo remoto de las variables de interés, que reduce costos de desconexión y de reinstalación, y no afecta la generación ni el uso diario de los equipos.

La información a partir de estas investigaciones permite determinar las mejores condiciones de operación y de explotación de los recursos energéticos renovables bajo estudio, conforme a tres aspectos: sociales, energéticos y tecnológicos

Los equipos se emplearán en la formación experimental de alumnos de grado de Ingeniería Electrónica y de posgrado de la Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible, a través de actividades de laboratorio no solo para estudiar las condiciones energéticas sino que también como módulos didácticos para el desarrollo y construcción de nuevos laboratorios remotos en otros ámbitos por parte de los futuros ingenieros en formación.

Los avances presentados podrían contribuir a la profundización del conocimiento de la temática sobre el uso eficiente de recursos y proveer información relevante a decisores gubernamentales, empresas y el sector académico vinculados las áreas de energía y electrónica.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Desarrollo de Laboratorios Remotos para la construcción de conocimiento en ingeniería y sustentabilidad energética Cód. 80020180100136UR acreditado por la Universidad Nacional de Rosario.

REFERENCIAS

- [1] S. Marchisio, F. Lerro, “El Laboratorio Remoto FCEIA-UNR: Integración de recursos y trabajo en redes colaborativas para la enseñanza de la Ingeniería”. TICAL 2015. Viña del Mar. Chile. 2015
- [2] M. Berge, E. Silfver, & A. Danielsson, (2018): In search of the new engineer: gender, age, and social class in information about engineering education, *European Journal of Eng. Education*
- [3] E. De Graaff, and A. Kolmos. (2007). *Management of Change: Implementation of Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering*. Rotterdam: Sense
- [4] J. E. Mills, and D. F. Treagust. (2003). “Engineering Education – Is Problem Based or Project-Based Learning the Answer?” *Australasian Journal of Engineering Education*
- [5] K. A. Smith, S. D. Sheppard, D. W. Johnson, and R. T. Johnson. (2005). “Pedagogies of Engagement: Classroom-Based Practices.” *Journal of Engineering Education* 94 (1): 87–101
- [6] D. Jonassen, J. Strobel, and L. Beng Chwee. (2006). “Everyday Problem Solving in Engineering: Lessons for Engineering Educators.” *Journal of Engineering Education* 95 (3): 139–151
- [7] C. Arlett, F. Lamb, R. Dales, L. Willis, and E. Hurdle. 2010. “Meeting the Needs of Industry: The Drivers for Change in Engineering Education.” *Engineering Education* 5 (2): 18–25.
- [8] S. Mäkimurto-Koivumaa, and P. Belt. (2016). “About, For, In or Through Entrepreneurship in Engineering Education.” *European Journal of Engineering Education* 41 (5): 512–529
- [9] ASIBEI (2013). Declaración de Valparaíso, sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. Documento de ASIBEI
- [10] F. Lerro, M. Protano. “Web-based Remote Semiconductors Devices Testing Laboratory”. *International Journal of Online Engineering (iJOE)* Vol. 3, No. 3. 2007. <http://www.i-joe.org>
- [11] G. Saez de Arregui, M. Plano, F. Lerro, L. Petrocelli, S. Marchisio, S. Concar, V. Scotta. “A Mobile Remote Lab System to Monitor in Situ Thermal Solar Installations”. *International Journal of Interactive Mobile Technologies. (IJIM)*. V7; 1; Start page: 31. ISSN1865-7923. 2013. <http://journaldatabase.org/journal/>
- [12] F. Lerro, S. Marchisio, S. Concar, M. Plano, C. Merendino, G. Saez de Arregui, J. García Zubia, U. Hernandez Jayo, G. Alves (2019, June). Improving the use of remote laboratories. The case of VISIR at Universidad Nacional de Rosario. In 2019 5th Experiment International Conference (exp. at'19) (pp. 183-188). IEEE.

- [13] S. Gil, P. Givogri, L. Codesiera (2015) El gas natural en Argentina – Proyección 2016-2025) Informe para la Cámara Argentina de la Construcción
- [14] IPCC. International Panel on : Climate Change. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. <http://www.ipcc.ch/>. [En línea] 2011.
- [15] C. Labriola. Win Energy in Argentina. Actuality and Prospects. In: The Age of Wind Energy. Progress and Future Directions from a Global Perspective. Ali Sayigh and David Milborrow (Eds.) Springer, Switzerland, 147-173 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26446-8>
- [16] J. Lassig, U. Jara, J. J. Valle Sosa, C. Palese. Urban Environment: Characterization of the Wind in Flat Roofs. In: The Age of Wind Energy. Progress and Future Directions from a Global Perspective. Ali Sayigh and David Milborrow (Eds.) Springer, Switzerland, 205-218 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26446-8>
- [17] M. Plano, G. Saez de Arregui, S. Concari. Laboratorio Remoto de Energía Solar Térmica. (2016) 95Años Actas IV Jornadas de Experiencias Innovadoras FCEIA-UNR

Proyecto de investigación IMaX+/SCIP como elemento motivador en el aprendizaje del alumno

Manuel Rodriguez Valido
Dpto. Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna
LaLaguna, España
mrvalido@ull.edu.es

Eduardo Magdaleno Castello
Dpto. Ingeniería Industrial
Universidad de La Laguna
LaLaguna, España
emagcas@ull.edu.es

David Hernández Expósito
Grupo de Física Solar
Instituto Astrofísica de Canarias
La Laguna, España
dhdez@iaa.es

Basilio Ruiz Cobos
Grupo de Física Solar
Instituto Astrofísica de Canarias
La Laguna, España
brc@iac.es

Maria Baleguer Jimenez
Grupo de Física Solar
Instituto Astrofísica de Andalucía
Granada, España
balaguer@iaa.es

Abstract— Creemos que un elemento importante para el alumno en su proceso de aprendizaje, es hacerlo participe en Proyectos de Investigación Científico-Tecnológicos Innovadores (PICTI). Esta participación permite motivar al alumno e involucrarse más en asignaturas. Concretamente, se le plantea implementar el enlace de comunicación de alta velocidad basada en el estándar CoaXPress, entre la electrónica de lectura de un sensor de imagen y el host o frame grabber. Para ello, tienen que integrar un módulo IP CoaXPress en el sistema empujado basado en Microblaze que posee el Firmware (FW) del instrumento IMaX+/SCIP. Desde el punto de vista metodológico, los alumnos adquirirán una visión y habilidad de trabajar en un sistema complejo, la habilidad de trabajar en equipo y desarrollarán experiencia en la metodología de diseño basado en Vivado-SDK-FPGA.

Keywords CoaXPress, GenICam, FPGA, Vivado-SDK, VHDL, Verilog TFG, TFM, Comunicaciones de alta velocidad, sensores de imagen

I. INTRODUCTION

Este trabajo, se enmarca dentro del campo de la metodología de diseño digital en FPGA dadas en varias asignaturas del grado Ingeniería electrónica y automática y del master de Industriales de la Escuela de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna.

El PICTI donde se desarrolla esta propuesta se denomina IMA+SCIP de la misión espacial Sunrise (2002-2021) [1]. Básicamente Sunrise es un observatorio solar montado sobre una góndola-globo dedicada para la investigación de los procesos magnéticos y los flujos conectivos en la atmósfera del sol. Esta misión, aprobada por plan nacional como una estrategia para el desarrollo de un demostrador tecnológico para la misión espacial Solar Orbiter (SO) [2]. SO es un satélite científico de observación de la física solar desarrollado por un consorcio internacional liderado por España y Alemania. SO fue seleccionado por la ESA como primera misión de clase media dentro del programa

“Cosmic Vision 2015-2025 y ha sido lanzado el 10 de febrero de 2020 desde Cabo Cañaveral [3] y lleva 10 instrumentos de los cuales, concretamente destacamos el magnetógrafo solar Polarimetric and Helioseismic Imager (PHI) [4] en el cual hemos participado.

Cabe destacar que IMA+ ha sido lanzado dos veces e IMA+ /SCIP instrumento es una versión mejorada de sus antecesores.

Este trabajo se estructura de la siguiente forma, en primer lugar, describiremos el sistema IMA+ /SCIP donde se detallan los dos módulos principales de la arquitectura, GSENSE400BS y CxP Control interface. A continuación, pasaremos a describir el software de control del firmware implementado y sus características principales. Y por último pasaremos a presentar los resultados y conclusiones obtenidos en este trabajo.

II. DESCRIPCION DEL SISTEMA

A. Arquitectura de sensor IMA+ /SCIP

El instrumento o magnetógrafo tiene como parte principal una cámara de altas prestaciones científicas y elegidas para obtener un buen rendimiento en las medidas de los parámetros físicos que se requieren [5]. El diagrama de bloques de la cámara IMA+ /SCIP es mostrado en la figura 1. Todo el sistema ha sido diseñado e implementado en VHDL/Verilog en una FPGA Artix 7 (xc7a50tcsg325-2) y con la herramienta Vivado-SDK ambos de la empresa internacional Xilinx.

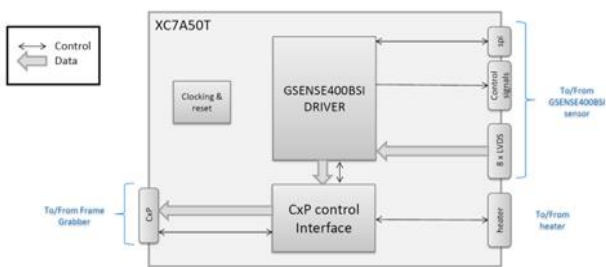


Fig. 1. Diagrama de bloques del FW IMAX+/SCIP

La arquitectura esta formada por dos grandes bloques, el driver del sensor GSENSE400BSI [6] y la interfaz de comunicaciones de alta velocidad CoaXPress [7].

El driver del sensor es el responsable tres grandes tareas, configuración del sensor, calibración de los canales de datos y controlar el proceso de adquisición de las imágenes. La tarea de configuración del sensor se hace mediante la interfaz de comunicaciones SPI. Mediante ella el driver accede a los registros del Sensor tanto para leer su estado como para cambiarlo.

El proceso de adquisición de datos de cada píxel del sensor (12 bits en modo estándar) hace uso de una interfaz de 8 canales series LVDS (Low Voltage Differential Signal). Estos datos tienen que ser previamente calibrados mediante un módulo en VHDL diseñado para tal fin. El proceso de calibración de cada canal tiene tres fases, y se basa principalmente sincronizar el reloj de lectura de los datos con los bits de cada píxel, las palabras de 12 bit de cada canal y los canales entre sí.

En cuanto al bloque CxP control interface o la interface CoaXPress, es realmente un sistema empujado basado en Soft-Processor Microblaze. En dicho bloque hemos integrado un IP de comunicaciones bidireccional de alta velocidad para transmitir imágenes al Host y para recibir comandos desde el host a baja velocidad, todo por un cable coaxial. Este IP de alta/baja velocidad está basado en el estándar CoaXPress.

B. Gsense400BSI driver

Este subsistema fue adaptado y desarrollado a partir del diseño inicial que suministra el fabricante del sensor de imagen Gpixel. Este diseño de partida fue implementado, por esta empresa, en Verilog para una FPGA Spartan 6 con camera link interface.

A partir de las especificaciones dadas por el equipo de científicos y un análisis del diseño inicial, nosotros cambiamos dicha interface por la interface CoaXPress y modificamos distintos bloques tales como el secuenciador, bloque de calibración, el

bloque de control del sensor, los bloques de recepción y transmisión de imágenes. También, añadimos un módulo de reordenado de canales y un bloque de empaquetado de datos de tal forma que pudiéramos aprovechar el ancho de banda de transmisión (3,125 Gbits/s) de la interface CoaXPress.

La figura 2 muestra un diagrama de bloque donde se detalla el firmware del driver del sensor [8,9]. Las señales del sensor (flechas rojas) muestran la interfaz con el sensor y las verdes son las que se comunica con la interface de control CxP. Aunque no este pintado en la figura posee un sistema generador de reloj el cual permite que cada uno de los módulos que forma el sistema este perfectamente sincronizado.

El módulo de recepción de imagen tiene dos modos de funcionamiento, modo de adquisición y modo de calibración. Cuando está adquiriendo imágenes desde el sensor paraleliza a 12 bit cada uno de los 8 canales de datos serie LVDS, (*sensor_data_ser*). En modo calibración, es el encargado de determinar el offset existente en bits (con respecto al reloj de lectura), píxeles y canales para luego poder decodificar correctamente los datos cuando está en modo adquisición. Estas tareas están controladas por una máquina de 6 estados o módulo de control del sensor. Esta máquina de estado posee un registro de control para el gobierno de todo el sistema. En la tabla 1, podemos ver la asociación que tiene cada uno de estos 8 bit con el comando a realizar y la función software de sistema empujado que se usa. De tal forma que con el solo uso o llamadas a las funciones que ahí se indica se puede controlar todos los procesos que se realizan sobre el sensor de GSENSE400BSI. Es decir, resetear el sensor, escribir o leer en los registros del sensor, adquirir imágenes e iniciar el proceso de calibración. También, hay un comando HW que se activa directamente desde el host y es usado como trigger HW para petición de un frame sin necesidad de generar el comando SW en la aplicación desarrollada (HW frame Request).

TABLE I. REGISTRO DE CONTROL Y SUS COMANDOS ASOCIADOS

Bit	Cmd	FSM State	SW function
0	SPI read	--	Spi_read()
1	SPI write	--	Spi_write
2	Reset	s RESET	resetSensor()
3	Training	S_TRAINI.	StarTrainig()

4	Frame Request	S_GRAB	requestFrame()
5	NOT USED	--	--
6	NOT USED	--	--
7	Go to IDLE	s_IDLE	--
trigger	HW-Fr-Req	s_GRAB_TG	Not SW function

El módulo de decodificación de imágenes tiene una interface Axi4 Lite para las comunicaciones entre el sistema el driver del sensor y el sistema empotrado que está en el módulo CxP. Además incluye tres bloques de memoria usados para almacenar los parámetros de configuración y las formas de ondas temporales que necesita el módulo *sequencer* en el proceso de adquisición. Los comandos enviados desde la aplicación software del sistema empotrado son almacenados en estos registros y atendiendo a sus contenidos los drivers operan o realiza las operaciones programadas.

El módulo *sequencer* haciendo uso de las formas de ondas almacenadas en el módulo codificador de imágenes direcciona cada pixel del sensor para ser leídos.

Y por último, el módulo SPI escribe y lee los datos del los registros de configuración del sensor.

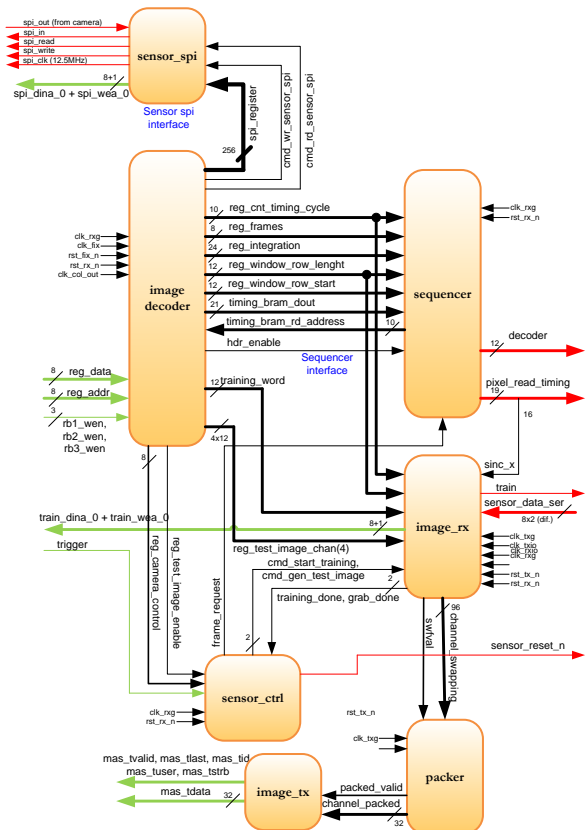


Fig. 2. Esquema del driver del sensor IMaX+/SCIP. GSENSE400BSI.

C. Interface de control CoaXPress

CoaXPress es una interface digital que fue desarrollada para transmisión de imágenes a alta velocidad y destinada principalmente a aplicaciones de visión por ordenador. La interface CoaXPress conecta dispositivos (cámaras típicamente) a un host (frame grabber). Esta combina la simplicidad del cable coaxial con el estado del arte de la tecnología de alta velocidad de datos series. Permitiendo, por el mismo cable, un data rate de hasta 6.25Gbps, enviar comandos para el control del dispositivo y la propia alimentación de toda la electrónica. Esta interface consiste de una conexión punto a punto entre el master y el dispositivo para formar un protocolo de enlace. Todos los datos son transmitidos usando paquetes codificados en 8B/10B [10]

En cada conexión el protocolo de enlace define un conjunto de canales lógicos mediante los cuales se hace la transferencia de triggers, entradas salidas de propósito general, datos de control y transmisión de streaming de alta velocidad, figura 3. Cada dispositivo es controlado por el Host vía registros y mediante el canal de control.

Fig. 3. Conexión de la interface CoaXPress y funciones transmitidas por los canales lógicos de la interfaz

La interface CoaXPress soporta el estándar GenICam [11,12]. Normalmente esta compatibilidad con el estándar se hace mediante un fichero XML almacenado en el dispositivo. Este fichero es compartido con el Host en el momento de la conexión y de esta forma, suministra una descripción detallada, del dispositivo, compatible con la API (GenAPI) de GenICam. Los registros de arranque almacenados en el dispositivo suministran al frame grabber una forma de acceder al fichero XML. Un aspecto importante de este fichero es que hay que usar el espacio de nombres dados por el estándar.

La interfaz de control CoaXpress en el proyecto IMaX+/SCIP es mostrada en el diagrama de bloque dado en la figura 4. Dicha interfaz de control esta basada en un diseño de bloques de Xilinx, implementado con la herramienta Vivado. La metodología de diseño con bloques, dada por esta herramienta, es una manera intuitiva y fácil de añadir IP Cores y/o módulos diseñados en VHDL, Verilog y Esquemático a un sistema empotrado.

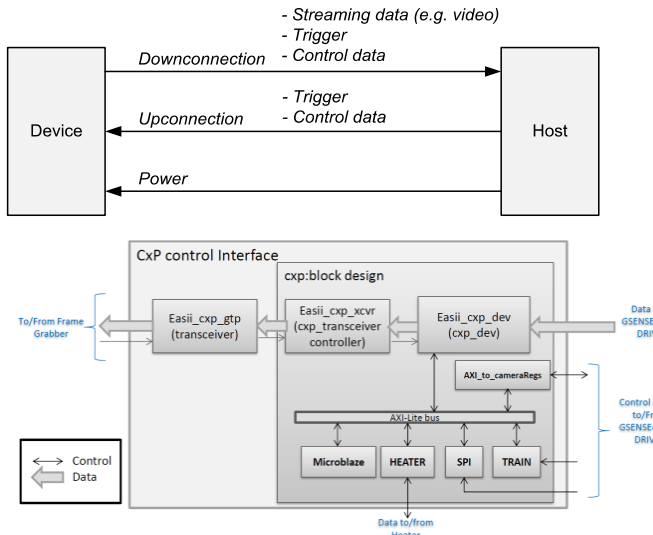


Fig. 4. Diagrama de bloques de la interfaz CoaXPress del instrumento IMaX+/SCIP

En la figura 4 podemos ver el sistema empotrado que controla tanto el driver del sensor (lado derecho) como la interfaz de comunicaciones CoaXPress (lado izquierdo).

También, se ven otros módulos (IP) necesarios para el instrumento tales como *Heater* (controlador de temperatura), *SPI*, y módulo *Train*, encargado de controlar el módulo de entrenamiento y estado definido en el driver GSENSE400BSI. Dicho sistema empotrado está basado en una arquitectura definida por un bus Axi4 Lite.

Axi4 Lite, permite, de una manera fácil acceder a todos los periféricos mediante los drivers de cada módulo y simples funciones software que están corriendo en el procesador Microblaze.

La interfaz de comunicaciones de alta velocidad también está controlada/conectada a este bus, la transferencia de datos del sensor es enviada directamente al host por la interfaz CoaXPress mediante el canal *I/O GTP transceiver* mediante el cual se puede alcanzar velocidades de transmisión de datos de hasta 6.6Gbps.

Como comentamos, este sistema empotrado, se basa en el Soft-Processor Microblaze. En él, está continuamente en ejecución una aplicación que está escuchando la interfaz CoaXPress para decodificar las ordenes/comandos procedentes del host o frame grabber y así facilitar las tareas de calibración, adquisición, configuración y transmisión el estado del instrumento. Todos los módulos de este sistema empotrado, están mapeados en el espacio de direcciones local, definido en el firmware del sensor, de tal forma que puedan ser comandados desde el host.

En cuanto al módulo IP CoaXPress *EASii_cxp_xcvr*. Es un módulo configurable diseñado por la empresa EASii-IC [13]. Este permite la transmisión de video procedentes de una o múltiples cámaras sobre un cable coaxial. Permite una velocidad de bajada (downlink) de hasta 6.25 Gbps (en nuestro caso 3.125 Gbps) y una velocidad de subida (uplink) para comunicación y control de 20.83 Mbps

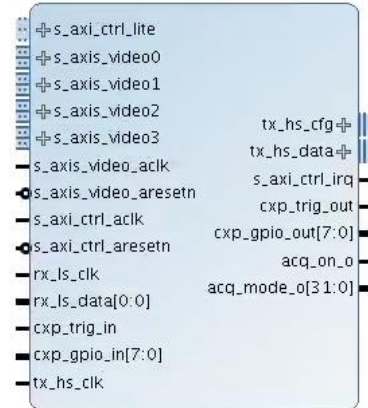


Fig. 5. EASii-IC CoaXPress IP interface

Este módulo IP ha sido adquirido con unas especificaciones concretas determinada para nuestra aplicación. La tabla 2 muestra los parámetros de las especificaciones del dispositivo. En cuanto a los parámetros de configuración, el dispositivo, dispone de una ventana de configuración de tal forma que se puede acceder desde el entorno *block design* en Vivado (figura 6). El resto de parámetros necesarios para la configuración de la interfaz CoaXPress están en el fichero XML del estándar GenICam. Estos parámetros no son editables y serán escritos por el procesador en el arranque. Es decir, antes de usar el IP, la aplicación software tiene que configurar los registros y las interrupciones. Una vez que el IP sea activado/arrancado. Este maneja todos los paquetes de control sobre la conexión hecha sobre la interfaz CoaXPress. El procesador no tiene actividad excepto cuando una petición del espacio del usuario es recibido. Esto significa que el host/frame Grabber pregunta por una dirección en hexadecimal por encima de 0x6000.

TABLE II. PARÁMETROS ESPECIFICOS DE CONFIGURACION DEL IP

Nombre de Parámetros	Valor
FPGA	xc7a50tcs325-2
Single StreamID mode	True
AXI4-Stream TDATA width	32
AXI4-Streams interfaces number	1
AXI4-Lite SLVERR return	true

CoaXPRESS standard version	1.1
Maximal bitrate	3.125 Gbps
CoaXPRESS lane number	1
1,25 Gbps discovery activation	Yes
3,125 Gbps discovery activation	Yes

III. FIRMWARE. SOFTWARE DE CONTROL

El software que controla la cámara fue desarrollado en lenguaje **c** y mediante la herramienta SDK IDE de Xilinx. En general esta aplicación, tiene un funcionamiento o tareas tales como: inicialización de registros locales, y registros del sensor y establecer el enlace del sistema comunicaciones entre el frame grabber (host) y el dispositivo para la adquisición de datos (sensor). El software de control interactúa con el driver del sensor mediante tres bancos de registros, RB1, RB2, y RB3.

La figura 7 muestra el diagrama de flujo de esta aplicación software. En ella, y como etapa inicial de funcionamiento, la aplicación inicializa la interfaz CoaXPRESS e inicia el proceso de conexión con el frame grabber. Es esta fase, hay un proceso de descubrimiento entre el Host y el Dispositivo. En la cual se establece la velocidad de transmisión (3,125Gbps) y el fichero XML almacenado en el dispositivo es enviado al Host. Una vez establecido el enlace se inicializa los bancos de registros RB1, RB2 y RB3 y el sensor es configurado con los valores por defecto que se encuentran en el fichero.

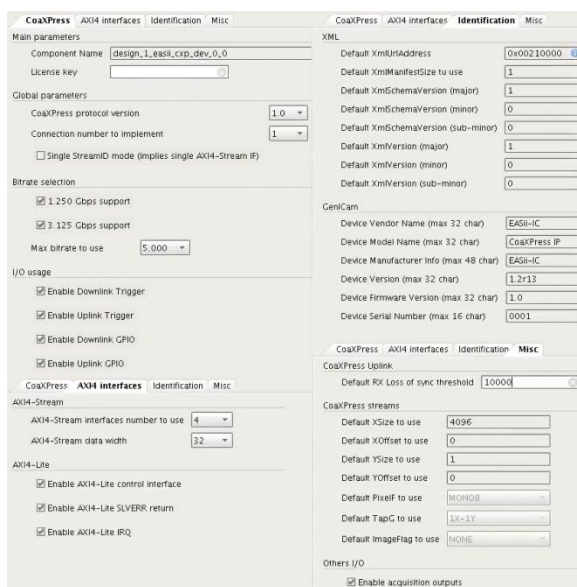


Fig. 6. Ventana de configuración del módulo IP CoaXPRESS de EASii-IV

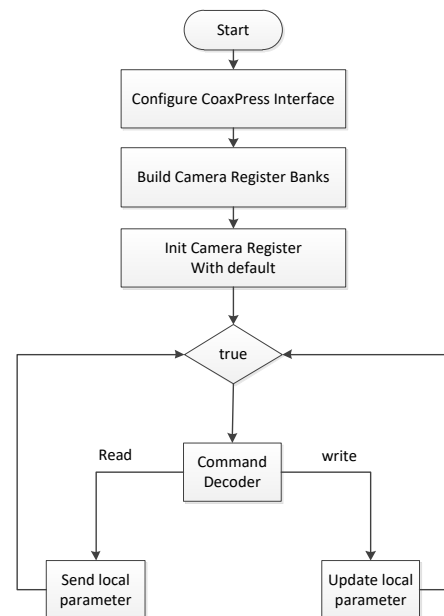


Fig. 7. Diagrama de flujo de la aplicación principal del procesador Microblaze

Una vez que estas etapas iniciales terminan, la aplicación software entra en un estado de decodificación de comandos. Es decir, cuando un comando (lectura o escritura) es detectado, el decodificador ejecuta dicha acción sobre los bancos de registros permitiendo esto interactuar con el DRIVER del sensor.

A. Vivado y diseño con bloques

Como comentamos anteriormente, el diseño presentado fue implementado en VHDL, Verilog, y en el caso del módulo IP de la interfaz CoaXPRESS, hemos usado uno adquirido a Easii-IC. Este módulo viene con su datasheet y un guía de configuración. Por un lado, tiene una interfaz de alta velocidad configurable mediante registros internos y por otro lado tiene una interfaz Axi4 lite de tal forma que puedas ser integrado fácilmente en una arquitectura basada en este bus (figura 4). Además, el fabricante nos proporciona un fichero de restricciones necesarias para el correcta integración y funcionamiento del mismo.

Vivado Design Suit tiene una forma fácil de integrar módulos y organizar un sistema empotrado. De forma automática, una vez que el módulo IP sea integrado, este lo sitúa en el espacio de memoria del sistema y crea las rutinas básicas (drivers) para acceder (lectura/escritura) al módulo y a todos los registros internos que este posea.

RESULTADOS

Todo el sistema fue testeado satisfactoriamente. La cámara (figura 8) y su firmware fue conectado a un frame grabbe comercial con CoaXPress interface y compatible con GenICam, figura 9.

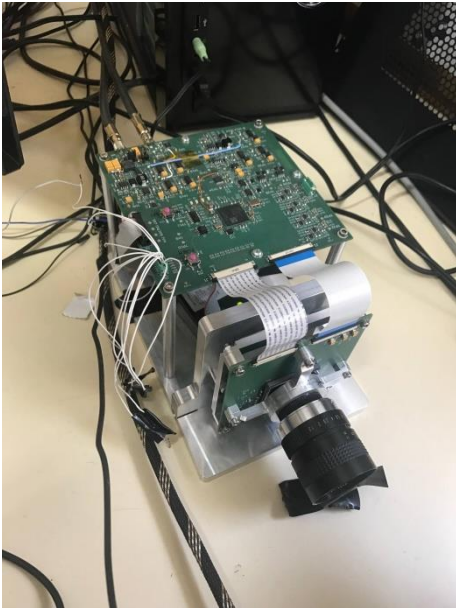


Fig. 8. Prototipo hardware de IMaX+/SCIP

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio, en las cuales se hicieron ajustes de todas las partes del proceso de adquisición. La figura 10 muestra una captura de una plantilla diseñada para este propósito.

El alumno que realizó este TFG, partió de conocimientos básicos ya adquiridos en metodología de diseño basada en FPGA-VHDL, sistemas empujados y sistemas de comunicaciones. Todas estas adquiridas en distintas materias del Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial. Desde este punto de vista, todo su esfuerzo del alumno, se centró en la integración del módulo IP CoaXPress de comunicaciones en el sistema empujado que le fue dado. Además, el alumno tuvo que implementar las funciones de decodificación de comandos en la aplicación software que corre sobre el procesador Microblaze.

Aunque el resto de módulos y arquitectura general del sistema empujado fue implementado por el equipo, el alumno, se enfrentó a una experiencia de metodología de diseño Hardware-Software basada en Vivado block design y SDK de Xilinx para integrar módulos en un sistema empujado sobre una FPGA.

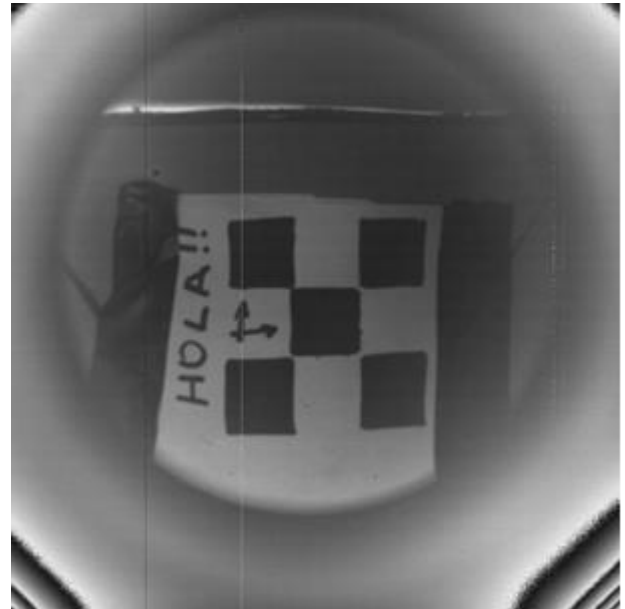


Fig. 9. 2048x2048 imagen de Test capturada por el sistema.

Además, adquirió experiencia práctica en el manejo de los drivers y software a bajo nivel para poder realizar operaciones de lectura y escritura en cada uno de los módulos/periféricos de la arquitectura propuesta.

En cuanto a la metodología para poder abordar el problema satisfactoriamente, el alumno siguió las siguientes fases de diseño.

- Estudio de los estándares CoaXPress y GenICam
- Estudio de las especificaciones o requerimientos científicos dados por el equipo de investigadores.
- Análisis del sistema HW/SW de partida proporcionado.
- Familiarizarse con la herramienta intuitiva Vivado block-design concretamente con la integración de un IP o módulo básico de los de librerías que proporciona Xilinx
- Integrar el módulo CoaXPress de EASii-IC y configurarlo según guía del usuario.
- Identificar y usar los drivers software que genera automáticamente la herramienta e integrarlos en el programa principal, con el objetivo de establecer una conexión entre el frame grabber y el sensor para la adquisición de imágenes.

A todo lo anterior, le podemos añadir que esta experiencia práctica, ha permitido al alumno enfrentarse y participar en un proyecto de investigación científico-tecnológicos innovador y multidisciplinar. Esta participación, en cierta

forma, ha obligado al alumno ser estricto con las tareas y plazos establecidos en el proyecto. Ya que las reuniones semanales de todo el equipo investigador obligaban/comprometían al alumno a seguir la disciplina del equipo. Poniendo esto en valor la importancia de estar coordinado y organizado con el grupo de investigación en todo momento.

Desde nuestro punto de vista, las tareas que resultaron más complejas para el estudiante de TFG, fue entender los conceptos y parámetros de configuración de los estándares CoaXPress y GenICam. Aunque estos elementos tecnológicos innovadores son complejos en sí, la dificultad encontrada por el alumno, básicamente fue debida, por un lado, a que son conceptos que no se trabajan en el grado, y por otra parte el estándar GenICam, que, aunque se encuentra en la frontera del diseño HW/SW se necesita conocimientos software para entender y usar dicho estándar.

Una vez entendido el funcionamiento y los conceptos asociados a estos. La integración, configuración y programación del sistema fue una tarea más llevadera y sencilla. Ya que prácticamente la herramienta Vivado-SDK realiza las tareas de conexión de periféricos y generación de drivers automáticamente.

ACKNOWLEDGMENT

Este trabajo fue financiado por el programa del plan nacional de investigación, RTI2018-096886-B-C53

REFERENCES

- [1] S. K. Solanki et al., "The Second Flight of the Sunrise Balloon-Borne Solar Orbiter: Overview of Instruments Updates, the Flight, the Data, and First Results", *Astrophysical Journal Supplement Series*, volumen 229, número 1, 2017.
- [2] ESA Science & Technology - Solar Orbiter, <https://sci.esa.int/web/solar-orbiter>
- [3] Cosmic Vision ESA program (2015-2015) <https://sci.esa.int/web/cosmic-vision/-/46510-cosmic-vision>
- [4] Achim Gandorfer, Sami K Solanki, Joachim Woch, Valentin Martínez Pillet, Alberto Álvarez Herrero and Thierry Appourchau, The Solar Orbiter Mission and its Polarimetric and Helioseismic Imager (SO/PHI). *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 271, GONG-SoHO 24: A new era of seismology of the sun and solar-like stars 27 June – 2 July 2010.
- [5] IMAX+/SCIP Camera Requirements Document. Solar Group, IAA (Instituto Astrofísica de Andalucía).
- [6] 4 Megapixels Scientific CMOS Image Sensor. Data sheet GPIXEL400BSI.
- [7] JIIA CXP-001-2015, CoaXPress Standard, Japan Industrial Imaging Association Standard Ver 1., Revised on Dec 29, 2015.
- [8] M. Rodríguez, E. Magdaleno, "FPGA firmware description for IMaX+/SCIP", *Actas de las Jornadas Sarteco*, Cáceres, 2019.
- [9] E. Magdaleno et al., "Ordenamiento de canales del sensor GSENSE400 en modo STD para el instrumento IMaX+", *Avances en Arquitectura y Tecnología de Computadores. Actas de las Jornadas Sarteco 2019*, pp.626-631, Cáceres, 2019.
- [10] Byte oriented DC balanced 8B/10B partitioned block transmission code. US Patent 4486739.
- [11] GenICam™ standard from the European Machine Vision (EMVA) website (<http://www.emva.org>).
- [12] Generic Interface for Cameras standard, GenICam Package Version 2018.06
- [13] CoaXPress Device IP Specification. IC/130206. Hard Soft Interface Document (EASii IC).

Experiencia en el uso de EMONA TIMS en la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones en la UNED de Costa Rica

Ing. José Roberto Santamaría-Sandoval
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Estatal a Distancia
San José, Costa Rica
jsantamarias@uned.ac.cr

Ing. Esteban Chanto-Sánchez
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Estatal a Distancia
San José, Costa Rica
echanto@uned.ac.cr

Abstract—Uno de los paradigmas en la enseñanza de las ingenierías es el mecanismo para poder adquirir las habilidades duras inherentes a la profesión sin un método presencial. La carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones de la UNED en el año 2016 irrumpe en Costa Rica con un método completamente virtual. A partir de esto, la inclusión de herramientas que permitan la virtualidad de la enseñanza es fundamental. En este estudio se reseña la experiencia que se ha tenido en la aplicación de EMONA TIMS en la carrera desde el año 2016 al año 2019, esto a partir de las capacidades de la plataforma adquirida, habilidades temáticas que se aplican y participaciones de los estudiantes de la carrera.

Keywords—Laboratorios remotos, EMONA TIMS, Telecomunicaciones.

I. INTRODUCCIÓN

La carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la UNED da inicio en el año 2016 únicamente con el grado académico de Licenciatura y bajo un modelo virtual. En Costa Rica, para la obtención del grado de ingeniería reconocido en estándares mundiales, se requiere la obtención de un pre-grado denominado Bachillerato, y posterior el grado de Licenciatura.

La malla curricular de la carrera de Licenciatura está compuesta de 12 asignaturas distribuidas en 3 bloques de 4 asignaturas cada una, y distribuidas en las áreas temáticas de: Sistemas, Gestión y Tecnologías. A su vez, el programa de Licenciatura tiene 2 profundizaciones: 1. Sistemas y Redes, y 2. Gestión de la Infraestructura. La tabla 1 muestra la profundización en Sistemas y Redes y la tabla 2 muestra la profundización de Gestión de la Infraestructura.

TABLA 1. ASIGNATURAS DE LA PROFUNDIZACIÓN DE SISTEMAS Y REDES

Number	I term	Credits	II term	Credits	III term	Credits
1	Políticas y normas de telecomunicaciones	2	Sistemas de comunicación	3	Ingeniería de redes y comunicaciones	3
2	Principios de redes de telecomunicaciones	3	Sistemas de fibras ópticas	3	Sistemas inalámbricos de comunicación de datos	3
3	Antenas y ondas de propagación	3	Sistemas de radio - comunicación	3	Administración organizacional de redes	3
4	Laboratorio de señales digitales	2	Laboratorio de transmisión de datos	3	Laboratorio de microondas	3

TABLA 2. ASIGNATURAS DE LA PROFUNDIZACIÓN DE SISTEMAS Y REDES

Number	I term	Credits	II term	Credits	III term	Credits
1	Políticas y normas de telecomunicaciones	3	Sistemas de comunicación	3	Monitoreo y operación de redes	3
2	Principios de redes de telecomunicaciones	3	Sistemas de fibras ópticas	3	Sistemas inalámbricos de comunicación de datos	3
3	Antenas y ondas de propagación	3	Sistemas de radio - comunicación	3	Gestión de redes y comunicaciones	3
4	Laboratorio de señales digitales	3	Laboratorio de transmisión de datos	3	Laboratorio de microondas	3

La carrera le ha dado prioridad a la experimentación como medio para la adquisición de habilidades y conocimientos por parte de sus estudiantes, considerando su modalidad 100% virtual, siendo las plataformas remotas y virtuales el soporte ideal a este modelo [1] [2][3].

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología empleada en la realización de esta investigación involucró técnicas documentales: revisión bibliográfica y análisis de contenido.

Dentro de la revisión bibliográfica se utilizó un método de búsqueda de información en bases de datos académicas como google académico, repositorio institucional, repositorio conare llamado Kimuk, desde planteamiento generales, con sintaxis de búsqueda sencilla como EMONA TIMS, hasta abarcar un conjunto de conceptos asociados al elemento principal Aplicación EMONA TIMS, Laboratorios Virtuales EMONA TIMS. Pero también se usaron mezclas de búsquedas con palabras que dan la característica del elemento a buscar, por ejemplo, artículo EMONA TIMS, investigación EMONA TIMS, laboratorio EMONA TIMS.

Utilizando el mismo mecanismo de búsqueda, se estableció una revisión documental de los repositorios documentales y bitácoras para las asignaturas de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en donde se utiliza EMONA TIMS desde el año 2016 y hasta el año 2019. Para esta labor se revisaron reportes de laboratorio y bases de datos de la carrera, de donde se obtuvo documentación y evidencia del uso de la plataforma.

El tercer paso consistió en el análisis de contenido de las fuentes documentadas. De las fuentes externas y artículos se obtiene información general que fundamente el uso de EMONA TIMS como mecanismo de enseñanza en telecomunicaciones [4][5][6]. Y de los reportes internos, la evidencia y datos del uso que se ha dado de la plataforma.

Para el análisis de resultados la técnica usada es del tipo comparativa. Una vez que se establecieron las temáticas que trabaja la plataforma en el área profesional de las telecomunicaciones, se realiza la comparación con resultados obtenidos desde las fuentes internas de la carrera para determinar la experiencia de su uso, para eso se utilizan datos a nivel de cantidad de estudiantes, cantidad de ingresos, cantidad de prácticas diferentes realizadas, y análisis comparativo del aprendizaje obtenido.

III. EMONA TIMS DENTRO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

A. Características generales de EMONA TIMS

La plataforma EMONA es un sistema de modelado instruccional de telecomunicaciones (TIMS). Estos sistemas constituyen una técnica flexible de modelado y creación de prototipos, que son ampliamente utilizados para construir sistemas de comunicación [4] siendo un mecanismo avanzado para el entrenamiento en telecomunicaciones [5] que incrementa las habilidades en métodos de experimentación por parte de los estudiantes [6].

Esta plataforma físicamente se constituye por un servidor, un *chasis* y tarjetas que emulan las configuraciones y elementos en un sistema de telecomunicaciones [7]. En la figura 1 se puede observar el *chasis* y una configuración de tarjetas.



Fig. 1. Chasis físico del equipo EMONA TIMS.

De manera remota, la plataforma permite la emulación de laboratorios [5][7][8], sea a través de un sitio *web* o por medio de un entorno virtual, esto depende del modelo que decida la universidad que lo implemente [9]. Lo anterior, se logra gracias al aplicativo dentro de EMONA denominado TIMS Client [7]. Por medio de este aplicativo se logra la comunicación al equipo usando protocolos estándar de comunicación (IP, SNMP), y el laboratorio conectado físicamente se carga con una imagen digital del laboratorio que se desarrolló primero en el Tutor TIMS [7], pero con parámetros reales de funcionamiento, logrando de dicha manera la emulación del circuito. En la figura 2 se observa un ejemplo de dicha emulación.

Pero también, tiene la característica de permitir la simulación de laboratorios a través del aplicativo Tutor TIMS [7][10], en dicho caso no requiere de la conexión física de un laboratorio, sino que de un banco de laboratorios y con parámetros de simulación predefinidos se logra simular el funcionamiento de estos. En la figura 3 se observa un ejemplo de simulación.

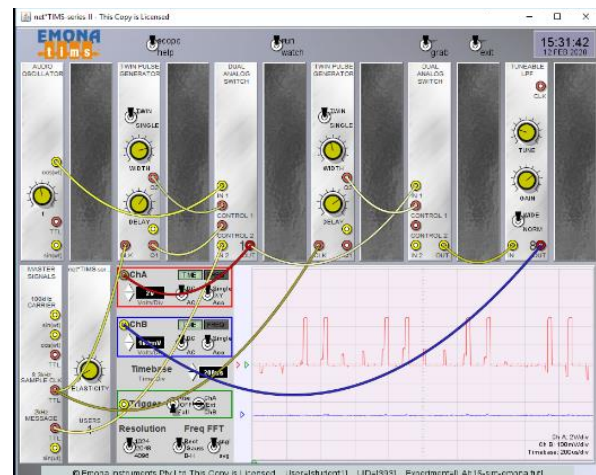


Fig. 2. Circuito emulado en plataforma EMONA TIMS a través de TIMS Client.

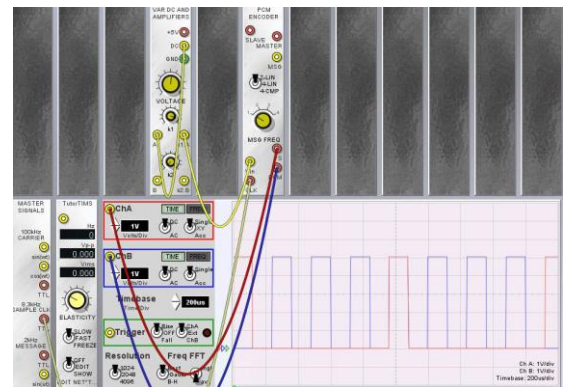


Fig. 3. Circuito simulado en plataforma EMONA TIMS a través de Tutor TIMS.

La tabla 3 muestra las capacidades y características de la plataforma EMONA en su versión completa de implementación [7].

TABLA 3. CAPACIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE EMONA TIMS

Característica	Valor
Cantidad de laboratorios documentados	120
Áreas temáticas	Codificación y decodificación, Modulación y demodulación, Medio de transmisión, transmisión y recepción
Tipos de señales	Análogas y digitales
Cantidad de módulos	Básicos: 13 Avanzados: 64

B. Características de la plataforma adquirida por la UNED

La plataforma adquirida en el año 2016 por la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones consta de las siguientes características resumidas en la tabla 4.

TABLA 4. CAPACIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE EMONA TIMS

Característica	Valor
Cantidad de laboratorios documentados	70
Áreas temáticas	Codificación y decodificación, Modulación y demodulación, Medio de transmisión. Transmisión y recepción
Tipos de señales	Analógicas y digitales
Cantidad de módulos ^a	Básicos: 13 (x2) Avanzados: 18 (x2)
Cantidad de <i>chasis</i>	2
Accesos concurrentes	20
Total de Licencias	100
Hardware de soporte	
CPU	2 X 8-Core 2.4 GHz
Memoria	64 GB DDR4
Disco Duro	2 TB 7.2 Kbps 2.5 HDD
Adaptador de red	1 Gbps Ethernet
Conmutadores de red	3 X N1524
Laboratorios concurrentes	
Emulados	2
Virtuales	100

^a. Se anota X2 porque se adquirieron un juego de tarjetas por módulo o *chasis*.

La adquisición que realizó la UNED abarcó todas las áreas temáticas que propone EMONA TIMS desde la información del proveedor [7]. Si bien, no son todos los módulos si contempla aquellos módulos relacionados a las áreas temáticas de la carrera y de los propuestos por EMONA. En la figura 4 se observa el banco completo de tarjetas adquirido por la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.



Fig. 4. Gabinete con las tarjetas adquiridas por la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

Para lograr su puesta en operación la plataforma se configuró bajo el esquema de la figura 5.

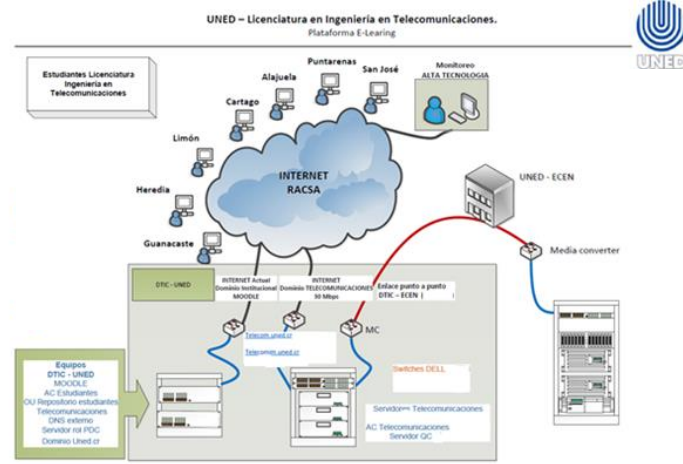


Fig. 5. Topología de conectividad de la plataforma EMONA.

En este esquema se brinda seguridad al acceso por parte de los estudiantes, al ingresar a un servidor virtual que está en una DMZ conectado a un servidor de autenticación. Todo dentro de la red de la universidad, aunque el estudiante por los mecanismos de autenticación puede ingresar remotamente desde cualquier lugar.

La figura 6 muestra una práctica conectada físicamente en la plataforma de EMONA en el laboratorio de Telecomunicaciones de la carrera.

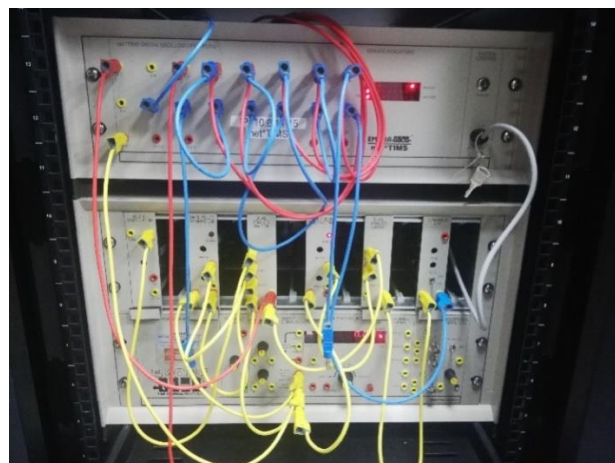


Fig. 6. Ejemplo de práctica conectada físicamente en el *chasis* de la plataforma EMONA en el laboratorio de Telecomunicaciones.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

La carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones ha tenido del 2016 al 2019 un total de 65 estudiantes. Pero a esa población estudiantil se deben sumar la cantidad de profesores, siendo 15 en total. Por lo tanto, la población total de usuarios en dicho período es de 80 personas.

En la tabla 5 se muestran los accesos a la plataforma EMONA TIMS desde el año 2016 al año 2019.

TABLA 5. CURSOS Y CANTIDAD DE PRÁCTICAS APLICADAS POR CURSO

Año	Cantidad de accesos totales	Cantidad de usuario por año	Cantidad de accesos promedio por usuario
2016	880	22	44
2017	1800	45	40
2018	1760	44	40
2019	560	14	40

De la tabla 5 se tienen varios aspectos importantes de resaltar:

- La cantidad de usuarios tuvo un pico importante en términos absolutos en los años 2017 y 2018. Para el año 2019 la carrera presentó una disminución en su matrícula de estudiantes.
- En alineamiento con la cantidad de usuario, también en los años 2017 y 2018 se tuvieron las cantidades más altas de accesos a la plataforma.
- El promedio de acceso por usuario es muy consistente, el promedio ronda los 40 accesos al año por usuario. Lo que representa un alto uso por parte de los estudiantes y profesores del sistema.

Del total de cursos de la carrera en un 30% se está haciendo uso de la plataforma. Ese porcentaje en cantidades absolutas representa 4 cursos del programa. En la tabla 6 se resumen las asignaturas y cantidad de prácticas diferentes que se han aplicado durante el período de estudio.

TABLA 6. CANTIDAD DE PRÁCTICAS APLICADAS POR CURSO

Curso	Código	Total de prácticas distintas	Cantidad de prácticas por curso
Laboratorio de señales digitales	03386	8	4
Sistemas de fibra óptica	03388	1	1
Laboratorio de transmisión de datos	03390	4	2
Laboratorio de microondas	03396	10	6

Eso representa un total de 23 prácticas diferentes, lo que indica que la carrera hace uso de un 32% de los posibles laboratorios que puede aplicar considerando los recursos adquiridos.

De los datos estadísticos de la carrera, el promedio para que un estudiante finalice el programa son 2 años, al no llevar bloques completos en cada matrícula. Esto conlleva a que el estudiante en promedio realice por año 12 prácticas. En promedio el estudiante ingresa 3 a 4 veces por práctica.

En la tabla 7 se resumen las temáticas estudiadas en cada curso donde se aplica EMONA TIMS [11]:

TABLA 7. TEMÁTICAS DE ESTUDIO POR CURSO

Curso	Temáticas
Laboratorio de señales digitales	Comunicaciones digitales, códigos, transmisión, normativa.
Sistemas de fibra óptica	Principios básicos, propagación, dispositivos, multiplexación, protocolos.
Laboratorio de transmisión de datos	Terminales, protocolos, transmisión digital, muestreo, multiplexación (TDM) y protocolos de enrutamiento
Laboratorio de microondas	Terminales satelitales, radioenlaces, microondas digitales, estaciones de radio, ganancia y pérdida, ruido, umbrales.

En específico por cada curso se realiza una reseña de resultados obtenidos de la experiencia de aplicación de EMONA TIMS.

A. Laboratorio de señales digitales

El laboratorio de señales digitales tiene por objetivo practicar y operar con modelos de comunicaciones digitales y de datos que se permitan en la transmisión en medios alámbricos e inalámbricos [11]. En la tabla 8 se realiza un cuadro comparativo de temáticas trabajadas con EMONA con respecto a las temáticas del curso presentadas en la tabla 5.

TABLA 8. TEMÁTICAS TRABAJADAS CON EMONA EN EL CURSO DE LABORATORIO DE SEÑALES DIGITALES

Laboratorio	Comunicaciones digitales	Códigos	Transmisión
Modulación BPSK	X		X
Demodulación BPSK	X		X
Generación QAM	X	X	X
Demodulación QAM	X	X	X
Transmisión Fibra Óptica	X		X
Multiplexación y Demultiplexación SONET	X		X
Multiplexación y Demultiplexación SONET con ruido	X		X
OFDM	X		X

De la tabla 8 se desprenden algunos puntos importantes.

- La plataforma permite trabajar un 75% de las temáticas del curso.
- Por la cantidad de prácticas aplicadas, se denota como EMONA brinda herramientas flexibles y adaptadas al curso.
- Los estudiantes pueden estudiar las temáticas desde perspectivas diferentes. Por ejemplo, en un curso se puede utilizar la práctica BPSK y en otro QAM.
- Por los módulos adicionales adquiridos se permite la incorporación de prácticas para ampliación de conocimiento como las aquí documentadas de SONET y fibra óptica.

B. Sistemas de fibra óptica

El curso de sistemas de fibra óptica tiene por objetivo diseñar y modelar las infraestructuras que componen los enlaces ópticos tales como: el espectro de frecuencia, equipos de transmisión y recepción, características de propagación, aplicaciones para núcleo y acceso, multiplexación con fibra óptica y tecnologías en equipos y protocolos de conectividad [11]. En la tabla 9 se realiza un cuadro comparativo de las prácticas trabajadas con EMONA con respecto a las temáticas del curso presentadas en la tabla 5.

TABLA 9. TEMÁTICAS TRABAJADAS CON EMONA EN EL CURSO DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

Laboratorio	Principios básicos	Propagación	Multiplexación y protocolos
Transmisión vía enlace óptico	X	X	X

De los resultados se pueden anotar los siguientes aspectos:

- Es el curso donde menos aplicación se ha dado a la plataforma EMONA.
- Por los módulos adquiridos, y en revisión a los manuales, la plataforma permite la aplicación de al menos 5 prácticas distintas en la parte óptica.
- La práctica aplicada es completa a nivel de temáticas que permiten estudiar, porque permite desde el análisis de protocolos hasta cálculos de parámetros de propagación.

C. Laboratorio de transmisión de datos

El curso de laboratorio de transmisión de datos tiene por objetivo modelar y operar los protocolos de comunicaciones que permitan la transmisión a través de medios alámbricos e inalámbricos [11]. En la tabla 10 se realiza un cuadro comparativo de las prácticas trabajadas con EMONA con respecto a las temáticas del curso presentadas en la tabla 5.

TABLA 10. TEMÁTICAS TRABAJADAS CON EMONA EN EL CURSO DE LABORATORIO DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Laboratorio	Transmisión Digital y Muestro	Multiplexación	Protocolos enrutamiento
Codificación PCM	X	X	
Decodificación PCM	X	X	
Generación DSSS	X	X	
Decodificación DSSS	X	X	

Con respecto a los resultados en el laboratorio de transmisión de datos se tiene:

- En concordancia con los otros cursos, se denota que la temática relacionada a terminales o equipos físicos es donde no se logra ubicar prácticas aplicadas.
- La plataforma EMONA permite el trabajo en 2 temáticas, pero es concordante con sus capacidades, porque EMONA no trabaja el tema de redes de datos a nivel empresarial [7].

- Se denota la versatilidad de la plataforma al incluir prácticas donde se puedan realizar estudios estadísticos y probabilísticos, como lo requiere las temáticas de muestreo y distribución de señales.

D. Laboratorio de microondas

El curso de laboratorio de microondas tiene por objetivo modelar la operación para obtener los criterios de transmisión y recepción de microondas analógicas y digitales, para ello dispondrá de teoría y práctica de diseños, evaluaciones mediante la simulación de laboratorios que actualmente se encuentran como escenarios que puedan instalarse fácilmente en un PC [11]. En la tabla 11 se realiza un cuadro comparativo de las prácticas trabajadas con EMONA con respecto a las temáticas del curso presentadas en la tabla 5.

TABLA 11. TEMÁTICAS TRABAJADAS CON EMONA EN EL CURSO DE LABORATORIO DE MICROONDA

Laboratorio	Radioenlaces	Parámetros de comunicación microonda
Modulación ASK	X	X
Demodulación ASK	X	X
Modulación FSK	X	X
Demodulación FSK	X	X
Modulación PSK	X	X
Demodulación PSK	X	X
Modulación PCM	X	X
Demodulación PCM	X	X
Modulación BPSK	X	X
Modulación QPSK	X	X

Este curso es donde mayor cantidad de prácticas se han realizado sobre EMONA, considerando que es un curso del bloque 3 y final de la carrera, es entendible pensando en el proceso de formación que han recibido los estudiantes. De la tabla 9 se desprenden algunos apuntes importantes:

- Similar a otros cursos, la plataforma no se ha trabajado en el tema de terminales.
- Se resumieron las 3 temáticas principales, donde la plataforma colabora en la formación de habilidades en un 66%.
- La variedad de prácticas que se pueden aplicar a este curso permite que todos los cuatrimestres se puedan aplicar prácticas distintas, con lo cual se puede dar variabilidad al uso del equipo.
- Las prácticas en este curso permiten en las primeras semanas la adquisición de los conceptos generales de funcionamiento, se denota del estudio que en las últimas semanas se pasa a otros aplicativos para la aplicación directa en sistemas microondas.

E. Experiencia general de la utilización de EMONA TIMS

Al realizar una valoración general de la experiencia con EMONA TIMS se tiene una perspectiva positiva desde los siguientes ámbitos:

- La plataforma no se ha utilizado por parte del programa en su capacidad total. Entonces, las posibilidades existentes para aplicación y ampliación de temáticas son amplias considerando lo indicado por el proveedor [7] en las especificaciones técnicas y manuales aportados al programa.
- Se determina que, por las características y temáticas de los cursos analizados, en algunos se tendrán mayor afinidad a la temática desarrollada por la plataforma EMONA [7], pero en las temáticas menos exploradas por parte de la carrera, como el caso de Sistemas de fibra óptica, la plataforma si tiene la capacidad de aumentar la aplicación de experiencias experimentales que refuercen el conocimiento adquirido por los estudiantes.
- En el contexto del uso, si es importante denotar la cantidad de ingresos a la plataforma que realiza cada estudiante por año, y la cantidad de veces que ingresan en promedio por práctica. Es importante denotar como no solamente ingresan una vez y realizan la práctica, sino que al menos requieren de entre 3 a 4 veces, eso demuestra la exigencia que se tiene para la realización de las prácticas y el proceso de adquisición de conocimiento que se debe realizar.
- Las características de la plataforma al permitir tanto la emulación como la simulación, permite en las prácticas que el estudiante compare datos desde una valoración con parámetros reales y cuando el ambiente es controlado por un aplicativo. Eso les permite desarrollar la habilidad del análisis crítico y comprensión del medio. En especial, en el ámbito en telecomunicaciones que se trabaja con medios no perfectos y propensos a condiciones ambientales.
- La afinidad de la plataforma con el modelo de enseñanza de la carrera. La plataforma al trabajar en tres ámbitos distintos sin distinción entre ellos: conexión física, emulación remota y simulación virtual complementa con el modelo virtual de enseñanza a la carrera, por cuanto cualquiera de los medios no involucra un cambio en el aprendizaje obtenido.

V. CONCLUSIONES

Para la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones la plataforma ha tenido una experiencia positiva de utilización y aplicación dentro de las temáticas de los cursos, si bien el porcentaje en cantidad de cursos es del 30%, también son los cursos de laboratorio y prácticos que tiene el programa. Entonces, su aplicación se está realizando conforme al plan establecido, pero del estudio se visualizan oportunidades en su ampliación de uso.

La plataforma se ajusta y adapta al modelo de enseñanza de la carrera, permitiendo al estudiante adquirir los

conocimientos y habilidades conforme al perfil de salida definido. Además, por el modo de funcionamiento de la plataforma: emulación y simulación le da una perspectiva completa al estudiante del funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones.

Los datos de uso de la plataforma permiten determinar que los estudiantes no solamente ingresan una vez por práctica, sino que deben realizar varios ingresos para lograr la conclusión de estas.

Es importante la cantidad de accesos que se ha tenido a la plataforma, porque la carrera es corta, tiene pocos estudiantes, pero se denota un uso intensivo, que le proporciona al estudiante las habilidades que debe adquirir un Ingeniero en Telecomunicaciones.

Por último, este trabajo es base para estudios posteriores, que permitan establecer el impacto y aprovechamiento desde la perspectiva de adquisición de conocimiento y formación de habilidades en los estudiantes graduados en el Ingeniería de Telecomunicaciones, considerando que la carrera hace uso de varias plataformas, no siendo la única EMONA TIMS.

VI. RECONOCIMIENTO

Los autores del artículo desean agradecer a la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones por la información y oportunidad de realizar este estudio. Es fundamental el acceso brindado a la información en la realización de este trabajo.

Se agradece a la UNED por parte de los dos autores, el permitir y ser visionarios en el campo de la enseñanza de la Ingeniería en Telecomunicaciones con un modelo virtual de enseñanza. Eso demuestra la visión de una institución pensando en la innovación y disrupción de los métodos tradicionales.

VII. REFERENCES

- [1] S. Freeman et al., "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics", *Proceeding of the National Academy of Science*, vol 111, no 23, pp. 8410-8415, 2014.
- [2] F. García et al., "Remote Laboratories for Electronic and New Steps in Learning Process Integration", in 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2016, pp. 106-111.
- [3] C. Arguedas, "Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps", in 2019 5th Experiment@ International Conference (Exp.at), pp. 208-213, 2019.
- [4] A. F. Khalifeh et al., "An experimental evaluation and prototyping for visible light communication", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 72, pp. 248-265, November 2018.
- [5] J. Song and D. E. Dow, "Using Telecommunication Instructional Modelling System (TIMS) in Communications Systems Course", *Paper presented at 2017 ASEE Annual Conference & Exposition*, Columbus, Ohio. <https://peer.asee.org/29090>.
- [6] P.B. Crilly and R.J. Hartnett, "Enhanced Learning – Combining MATLAB Simulation with Telecommunication Instructional Modeling (TIMS™) in a Senior Level Communication Systems Course", in IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2015 [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7344351/authors#author_s. [Accessed Feb 05, 2020]
- [7] EMONA TIMS, "Advanced Lab Teaching – TIMS 301/C", [Online]. Available on: <https://www.emona-tims.com/emona-product/advanced-lab-teaching/>. [Accessed Feb-05-2020]
- [8] M. Marques da Silva, "Cable and wireless networks: Theory and practice", New York: Taylor and Francis Group, 2016.
- [9] M.A. Khan and F. Hassan, "Enhancing Students' Lab Experiences using Simulink-based Pre-Labs of Corresponding Hardware-based Labs", *Proceedings of the 2018 ASEE North Central Section*

Conference, Akron, Ohio.
<http://people.cst.cmich.edu/yelam1k/asee/proceedings/2018/1/69.pdf>

- [10] A. Melkonyan, M. Pontual, G. Huang, A. Gampe and D. Akopian, "eComLab: REMOTE LABORATORY ARCHITECTURE FOR RADIO-COMMUNICATIONS", *Proceedings of the 2011 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference*, Houston, Texas.
<http://aseegsw.com/past%20Proceedings/ASEE-GSWConference2011/F2A-1.pdf>
- [11] A. Solano et al., "Programa de Ingenieria en Telecomunicaciones", *Universidad Estatal a Distancia*, unpublished, 2016.

A PBL approach for teaching Electronics Fundamentals by Developing Robotics Projects

Ana Luna
Dept of Engineering
Universidad del Pacífico
Lima, Peru
ae.lunaa@up.edu.pe

Mario Chong
Dept. of Engineering
Universidad del Pacífico
Lima, Peru
M.Chong@up.edu.pe

Abstract— In this work we present a project-based learning approach to teach basic concepts of electronics to undergraduate students of business and information engineering. In each laboratory session, the students carry out a project using robotics tools and several basic electronics concepts. In this way, students develop skills in electronic circuit design, problem solving and teamwork. Also, the course includes programming in Arduino. The results indicate that learning the fundamentals of electronics through various robotic projects not only motivates students but also allows them to experience and discover the link between physics, technology and engineering.

Keywords—problem-based learning, educational robotics, constructivism, electronics fundamentals

Satellite and aircraft communications through SDR as an introduction to Telecommunications and Electrical Engineering

Gonzalo Belcredi, Martin Randall, Claudina Rattaro and Pablo Belzarena
Instituto de Ingenieria Electrica
Facultad de Ingenieria, Universidad de la Republica
Montevideo, Uruguay
fgbelcredi,mrandall,crattaro,belzag@fing.edu.uy

Abstract—This article describes our teaching experience and lessons learned using Software Defined Radio (SDR) for introducing freshmen to Telecommunications and Electrical Engineering programs. During the course we give a hands-on introduction on SDR, Python programming language, and some basic concepts in communications. With these tools, the students address challenging projects on wireless communications. One of the main objectives is to motivate freshmen students on Telecommunications and Electrical Engineering programs. In this paper we explain the methodology used and some of the projects that have been developed during the last two years.

Index Terms—Engineering Education, Software Defined Radio, Wireless Communications, Satellite communications, aircraft communications, hands-on educational methodology

Encouraging Girls in STEM: workshops on analog electronics, sensors and robotics

Claudina Rattaro, Isabel Briozzo, Mariana Siniscalchi, Florencia Blasina and Mariana del Castillo

Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

fcrattaro, ibriozzo, msiniscalchi, fblasina, mdelcastillog@fing.edu.uy

Abstract—Female students, researchers and employees are under-represented in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) related fields. In many countries this has resulted in projects and initiatives aimed for promoting gender equality. To overcome the leaky pipeline phenomenon, which occurs mostly in secondary school, our University has been carrying out different actions to encourage girls to enroll in STEM careers. In this article, we focus on Taller Electrificante experience which is conducted by women teachers of the Electrical Engineering Institute of the School of Engineering. It consists of two independent modules: Laser Communication and Robotics with Arduino, where several disciplines related to Electrical Engineering and Communication Systems are presented in hands-on workshops applying the role model approach.

Index Terms—women and STEM careers, role model approach, robotics, telecommunications, analog electronics.



Session TS-3A

Electronics I

Ejemplo de aplicación del concepto “Aprendizaje Basado en Proyectos” en estudios de Máster

Unai Hernandez-Jayo
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
Bilbao, España
unai.hernandez@deusto.es

J. Ignacio García
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
Bilbao, España
jigarcia@deusto.es

Abstract—En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto se sigue un modelo pedagógico en el que los contenidos prácticos son una pieza fundamental del proceso de aprendizaje. Es por esta razón por la que los alumnos pasan casi la mitad de sus horas docentes en el laboratorio. Sin embargo, sin una coordinación adecuada, los estudiantes pueden perder la conciencia del “para qué” de una asignatura, siendo su objetivo único el presentar la práctica. Para tratar de añadir un aliciente más y dar un sentido común a lo aprendido, en el Máster Universitario en Automatización, Electrónica y Control Industrial (MUAECI) todas las asignaturas están organizadas en pares, de modo que los alumnos trabajan en proyectos en los que las prácticas de ambas asignaturas están coordinadas y tienen un objetivo común. Así se trata de darles valor añadido mostrando el “por qué” y el “para qué” de lo aprendido en cada asignatura, así como la interdisciplinariedad de la ingeniería. Este artículo presenta uno de estos proyectos en los que se combinan las asignaturas de Control en tiempo real de dispositivos industriales y Sistemas electrónicos de potencia. (Abstract)

Keywords— *Electrónica de potencia, control en tiempo real, motor asíncrono, inversor de potencia*

I. INTRODUCTION

La definición de la Declaración de Bolonia en el contexto de la enseñanza universitaria, ha contribuido a pasar de un modelo educativo universitario tradicional a un nuevo paradigma centrado en el modelo de aprendizaje y no tanto de la enseñanza en sí misma [1]. Así, el proceso de aprendizaje pone su foco principalmente en el estudiante, que es quien debe adoptar una posición activa de búsqueda de conocimientos, siendo el profesor un guía que facilita los medios necesarios para lograr los resultados de aprendizaje requeridos para cada tema.

En este contexto, tal y como se definió en los resultados del proyecto “*Tuning Educational Structures in Europe*” [2], es recomendable que la evaluación del aprendizaje no se base sólo en un examen final, sino que el profesor pueda realizar un seguimiento, tutorización y evaluación durante todo el proceso de aprendizaje desarrollado por el estudiante. De este modo, los resultados del aprendizaje pueden expresarse por medio de competencias, que representan una combinación de conocimientos, habilidades instrumentales, capacidades personales y capacidades sistémicas. La promoción de estas competencias es el objetivo de aprendizaje, tal y como lo establecen el Programa de Acreditación ABET [3] y los criterios de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad

y Acreditación (ANECA) en España [4]. En este nuevo contexto, educativo los profesores buscan métodos de aprendizaje que permitan conocer y evaluar los resultados de los alumnos sin utilizar los métodos tradicionales basados únicamente en el examen final. Estas metodologías deben facilitar el alineamiento de competencias, métodos y sistemas de evaluación, para lo cual el profesor debe planificar todo el trabajo a llevar a cabo por los alumnos antes de iniciar la asignatura, especificando tanto las actividades como el modelo de evaluación que se llevarán a cabo durante todo el semestre [5].

En el ámbito de la ingeniería se añade la necesidad de proporcionar a los estudiantes un conjunto de competencias genéricas fuertemente ligadas a las habilidades a desarrollar en los laboratorios, por lo que es necesario integrar actividades prácticas en los cursos. Dentro de la electrónica, estas competencias se desarrollan mediante actividades tanto de software como de hardware, siendo en ambos casos prácticamente obligatorio que el estudiante manipule y sienta cómo responden los sistemas a las diferentes situaciones para poder comprender realmente su funcionamiento [6],[7].

En este escenario, este artículo plantea una metodología en la que los alumnos van sumando poco a poco conocimientos en cada una de las dos asignaturas contempladas. Así, la suma de actividades, tanto teóricas como prácticas, planteadas en cada asignatura de manera independiente, les proporciona una serie de conocimientos que deben posteriormente combinar en un proyecto final que es el sumatorio de experiencias de ambas asignaturas. Para ello, ambas asignaturas están basadas en un proceso de aprendizaje activo con una retroalimentación continua por parte del profesor y una combinación de clases teóricas en el aula con ejercicios prácticos en el laboratorio [8]. Por lo tanto, se trata de un método de aprendizaje activo [9], en el que el estudiante va conociendo las diferentes partes del proyecto final, teniendo que ser él finalmente capaz de unirlos para satisfacer los objetivos del proyecto conjunto planteado, siendo el laboratorio de electrónica de potencia y máquinas eléctricas en este caso, el lugar adecuado para ello [10].

El trabajo presentado en este artículo, muestra un ejemplo de aplicación real y práctico del modelo de aprendizaje basado en proyectos (o PBL por sus siglas en inglés - *Project Based Learning*), el cual se propone como un enfoque pedagógico que da a los estudiantes de ingeniería una oportunidad de aprender haciendo y aplicando su formación a problemas del mundo real [11]. Así, durante el proyecto propuesto a los

alumnos, éstos pueden alcanzar resultados de aprendizaje que les ayuden a desarrollar satisfactoriamente competencias específicas de las asignaturas Control en Tiempo Real de dispositivos industriales (CTR) y Sistemas Electrónicos de Potencia (SEP) impartidas en el MUAECI.

Este documento se estructura de la siguiente manera: la Sección II introduce el contexto, la Sección III la maqueta real sobre la que los alumnos testearán los resultados del PBL, mientras que la Sección IV desarrolla el plan de trabajo presentado a los alumnos. La Sección V introduce el sistema de evaluación empleado y, por último, la Sección VI presenta las conclusiones.

II. ESCENARIO DE DESARROLLO DEL PBL

El Marco Pedagógico implantado en la Universidad de Deusto, recoge, entre otros aspectos, lo que se ha denominado el Modelo de Formación de la Universidad de Deusto (UD), más conocido como MFUD, el cual define una secuencia de aprendizaje basada en cinco etapas: Contexto Experiencial, Observación Reflexiva, Conceptualización, Experimentación Activa y Evaluación. El objetivo de este modelo es ayudar a los profesores a cambiar su metodología de enseñanza, a un paradigma centrado en el aprendizaje [12], tal y como se ha indicado en la introducción. Así, el papel del profesor en el nuevo modelo de aprendizaje autónomo y significativo, se concentran en ser organizador, facilitador, motivador, evaluador, coordinador y líder en el proceso de aprendizaje de los alumnos [13].

En la Facultad de Ingeniería, este modelo se aplica mediante una combinación de clases teóricas y actividades de laboratorio, siguiendo un proceso educativo de "aprender haciendo". De tal manera que, en todas las asignaturas del programa del MUAECI, los alumnos tienen que realizar actividades prácticas complementarias a las clases teóricas impartidas de manera magistral en el aula. Este carácter eminentemente práctico es necesario, ya que el MUAECI tiene como objetivo formar profesionales altamente capacitados para diseñar, desarrollar e implementar sistemas industriales automatizados que aporten valor añadido a los procesos del ámbito de la fabricación avanzada. Desde la implantación del Máster en el año 2015, las asignaturas se encuentran agrupadas de dos en dos, de modo que los profesores de ambas asignaturas han diseñado un PBL específico y adaptado a las competencias de las mismas. El objetivo, además de que los alumnos desarrollen estas competencias específicas y transversales, es ofrecer a los alumnos una visión global en donde comprendan y comprueben la necesidad de combinar el conocimiento de varias asignaturas para abordar proyectos multidisciplinarios, tal y como ocurrirá con frecuencia durante su carrera profesional.

Los siguientes apartados ofrecen una visión particular de las dos asignaturas combinadas bajo el PBL que lleva por título "Diseño e implementación del control de un inversor trifásico que alimenta un motor de inducción".

A. Control en tiempo real de dispositivos industriales

La asignatura Control en Tiempo Real de dispositivos industriales se encuadra en la materia de Electrónica Industrial que tiene por objetivo desarrollar aplicaciones informáticas tanto sobre ordenadores industriales, como autómatas u otros controles programables en escenarios industriales de fabricación avanzada que incorporen los mecanismos de

comunicación necesarios para llevar a cabo tareas que cooperan en tiempo real e interactúan con otros elementos.

El anterior objetivo es abordado por esta asignatura mediante el desarrollo de algoritmos destinados a la adquisición y acondicionamiento de señales eléctricas mediante sensores industriales y mediante el diseño e implementación de sistemas de control de potencia en tiempo real basados en Procesadores Digitales de Señal (DSP).

Para satisfacer este objetivo, los alumnos tienen que desarrollar las siguientes competencias, las cuales se encuentran diferenciadas entre genéricas y específicas:

- Competencia Genérica: Identificar, analizar y definir los elementos que constituyen un problema para resolverlo con criterio y de forma efectiva, proponiendo soluciones que puedan ser contrastadas en equipo y aplicadas en el ámbito de la automatización, electrónica y control industrial a partir de los datos obtenidos.
- Competencia Específica 1: Adquirir y acondicionar señales eléctricas mediante sensores industriales estándar.
- Competencia Específica 2: Diseñar e implementar sistemas de control de potencia en tiempo real basados en un DSP.

El marco teórico-práctico de la asignatura se encuentra dividido en un bloque teórico y en un bloque práctico de implementación. Durante el primero, los estudiantes adquieren los conocimientos básicos de los sistemas en tiempo real (qué son, para que se aplican, tipos, sistemas multitarea etc.), así como de la arquitectura del DSP de *Texas Instruments* TMS320F28335, el cual, al tener integrados los periféricos necesarios para el control de motores, se denomina *Digital Signal Controller* (DSC) que posteriormente usarán durante el bloque de implementación y durante el PBL. También durante esta primera parte teórica se les introduce los conocimientos necesarios para adquirir y acondicionar señales (filtrado, muestreo, *anti-aliasing*, etc.), así como se hace un repaso conceptual tanto de los fundamentos de la conversión electromecánica en un motor asíncrono, como del control escalar tensión/frecuencia (V/f) que posteriormente deben implementar durante el PBL.

En paralelo y alternando con las clases teóricas, durante el segundo bloque práctico de implementación, los estudiantes desarrollan una serie de prácticas tanto con *MatLab/Simulink*® como con el controlador DSC TMS320F28335. El planteamiento de actividades de este bloque responde al desarrollo de un proyecto real de estas características: previo a la implementación sobre una plataforma real, el ingeniero/a debe simular en un entorno controlado que los algoritmos desarrollados son válidos y las señales de control y monitorizadas responden a las especificaciones dadas.

B. Sistemas electrónicos de potencia

La asignatura Sistemas Electrónicos de Potencia (SEP), que también forma parte de la materia Electrónica Industrial, está enfocada a sistemas de electrónica de potencia existentes en la industria, y pretende dotar al alumno de una amplia capacidad de comprensión y unos sólidos conocimientos básicos y de análisis que le permitan afrontar problemas de control y conversión de energía eléctrica más complejos en el futuro [14].

Alcanzados los objetivos de la asignatura, el estudiante manejará con soltura los conceptos relativos a la conversión electrónica de potencia, sabrá diferenciar y elegir los elementos más adecuados para una aplicación, estará familiarizado con sus valores característicos y su comportamiento en servicio y será capaz de integrarlos en sistemas electrónicos de potencia del ámbito industrial.

Los alumnos tienen que desarrollar las siguientes competencias específicas:

- Competencia Específica 1: Identificar y caracterizar los dispositivos electrónicos para el desarrollo de sistemas de control de electrónica de potencia.
- Competencia Específica 2: Modelizar y simular sistemas industriales de control de potencia avanzados.

La competencia genérica a desarrollar es la misma que la de CTR lo cual favorece la coordinación entre asignaturas estableciendo una metodología enseñanza-aprendizaje común.

Las clases en aula, junto con el trabajo personal de estudio del alumno, constituyen la fase de conceptualización. El profesor complementa el contenido de los apuntes con explicaciones acerca de las características y funcionamiento de los sistemas reales de electrónica de potencia (semiconductores, elementos pasivos, sensores, *drivers* y electrónica de control), su comportamiento en servicio (conmutación, cálculos de pérdidas, análisis térmico, etc.), parámetros de rendimiento, su reacción sobre la red de alimentación en términos de calidad de onda y las técnicas para analizar y diseñar dichos circuitos. El contenido teórico se centra en circuitos de potencia conmutados, desde las topologías asociadas a la conversión de continua (*Buck-Boost*) hasta el inversor trifásico DC-AC, convertidor principal del PBL a desarrollar.

Durante la exposición oral de los temas en el aula, se intercala el planteamiento de ejercicios prácticos, guiados por el profesor. Se plantean y resuelven ejercicios numéricos de aplicación con la recomendación de bibliografía especializada que aborde problemas acordes con los conocimientos y métodos aprendidos.

Las clases prácticas y el trabajo fuera de su horario lectivo en el que el laboratorio está a su disposición, son los medios de realización de las fases de observación reflexiva y experimentación activa. Se plantea como guion de las prácticas la modelización de los circuitos electrónicos de potencia analizados en las sesiones teóricas. Para ello se emplea la herramienta de modelización de sistemas dinámicos *MatLab/Simulink*®. Cada práctica implica la modelización y simulación de un sistema real de electrónica de potencia conmutado (modulación por anchura de pulso escalar y vectorial) y la realización y entrega de un informe técnico que recoja el modelo diseñado, el conjunto de simulaciones realizadas y sus resultados validados con experimentación con equipos reales en el laboratorio.

Por tanto, la metodología utilizada consiste en presentar los contenidos teóricos mediante clases expositivas, reforzar los aspectos prácticos mediante clases en el laboratorio y permitir que los estudiantes experimenten por sí mismos estos

contenidos en el desarrollo de diversos ejercicios prácticos y un proyecto.

III. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUETA HVMOTORCTRLT

El PBL diseñado está basado en el kit de Control Digital de Motores de Alto Voltaje (DMC) y Corrección del Factor de Potencia (PFC) proporcionado por *Texas Instruments* bajo la referencia HVMotorCtrlt v1.7/v2.0. Esta maqueta proporciona una base sobre la que los estudiantes pueden aprender y experimentar técnicas de control digital de motores de alto voltaje.



Fig. 1 Maqueta hardware del KIT de desarrollo HVMotorCtrlt v1.7/v2.0 de Texas Instruments

Las características principales de la maqueta, desde el punto de vista hardware son:

- Etapa inversora trifásica (IPM) para el control de motores de alto voltaje.
- 350V_{CC} máximo voltaje de entrada y 1kW/1,5kW de carga máxima.
- Entradas QEP y CAP disponibles para la medición de velocidad y posición.
- Preparado para la medición de alta precisión de corriente mediante conversores analógico-digitales, amplificadores operacionales de alta velocidad y uso de voltaje de referencia de alta precisión 3 v 2.0.
- La etapa de corrección del factor de potencia (PFC) con capacidad para 750W, puede utilizarse para aumentar la eficiencia mediante regulación de corriente de CA de entrada y tensión CC del bus del inversor.
- Topología de dos fases intercaladas, 85-132V_{AC} / 170-250V_{AC} con 400V_{CC} de máximo voltaje de salida.
- 750W de potencia máxima con hasta un 96% de eficiencia.
- Frecuencia de conmutación máxima de 200 kHz para la etapa de potencia.

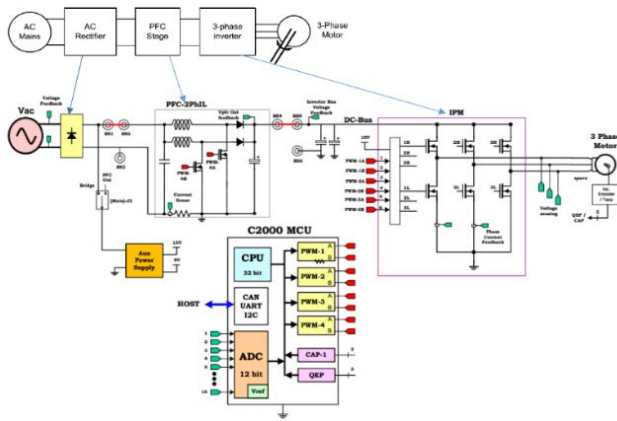


Fig. 2 Esquema electrónico y diagrama de bloques del KIT TMDSHVMTRPFCKIT

IV. PLANTEAMIENTO DEL PBL

Siguiendo las recomendaciones de Hernández-Leo et. al [5] antes de iniciar el desarrollo del PBL con los alumnos, se debe hacer un análisis de los resultados esperados desde el punto de vista educativo, los cuales, para este caso en concreto, se definen en la Tabla I a través de los resultados de aprendizaje esperados para cada una de las competencias específicas que se trabajan en el PBL (las genéricas de ambas asignaturas se evalúan mediante otras actividades complementarias en cada una de ellas).

Esta visión general se les ofrece a los alumnos durante una sesión conjunta en la que ambos profesores de las asignaturas implicadas (los autores del artículo), presentan el PBL y enuncian su objetivo principal, el cual es modelizar y simular el accionamiento eléctrico de un motor de inducción mediante inversor trifásico.

TABLA I. COMPETENCIAS Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE ESPERADOS

Asignatura	Competencia Específica	Conceptos trabajados en el PBL	Resultados de Aprendizaje (RA)
Control en tiempo real de dispositivos industriales (SECTS)	Adquirir y acondicionar señales eléctricas mediante sensores industriales estándar	Adquisición, muestreo y acondicionamiento de señales de tensión e intensidad	RA1: Comprende los mecanismos necesarios para adquirir y caracterizar señales eléctricas empleadas para el control de máquinas eléctricas
	Diseñar e implementar sistemas de control de potencia en tiempo real basados en DSP	Desarrollo de un control V/f para el motor asíncrono en base a una consigna de velocidad dada	RA2 Diseña e implementa bajo un entorno controlado de simulación el control V/f de un motor asíncrono
			RA3 Identifica los parámetros de control necesarios para ejercer el control en tiempo real sobre un motor síncrono
			RA4: Mide, analiza y distingue las señales generadas por el controlador y necesarias para el control V/f sobre la maqueta real
Sistemas electrónicos de potencia (SECTS)	Identificar y caracterizar los dispositivos electrónicos para el desarrollo de sistemas de control de electrónica de potencia	Cálculo, caracterización y selección de dispositivos de potencia, topologías de convertidor conmutado y tipos de modulación por anchura de pulso (PWM)	RA1: Identifica los parámetros de control necesarios para implementar el control de un convertidor de potencia DC-AC de 2 niveles basado en transistores IGBT
	Modelizar y simular sistemas industriales de control de potencia avanzados	Desarrollo del modelo conmutado de un convertidor DC-AC con modulación PWM escalar e inyección de tercer armónico	RA2: Mide, analiza y distingue las señales de modulación asociadas a la conmutación de los dispositivos de potencia
			RA3: Diseña e implementa bajo un entorno controlado de simulación la operación de un inversor trifásico
		Desarrollo de un modelo de control discreto de un inversor trifásico que alimenta un motor de inducción	RA4: Diseña e implementa bajo un entorno controlado de simulación el control V/f de un motor asíncrono empleando diferentes técnicas de modulación de convertidores
			RA5: Mide y analiza las capturas de señales realizadas sobre la maqueta real validando el modelo discreto desarrollado

Para lograr ese objetivo principal, los profesores especifican los siguientes pasos a seguir:

1. Implementar, en bloques *Simulink*®, el control discreto tensión-frecuencia sin realimentación de velocidad con un tiempo de control impuesto por la biblioteca de enlace dinámico (DLL) generada en la asignatura CTR.
2. Implementar la inyección de tercer armónico en la modulación senoidal.
3. Implementar un sistema de medidas de intensidades, tensiones y potencias.
4. Validar el control mediante bloques comparando resultados con la experimentación real.

Siendo este el planteamiento, los objetivos operativos que se les plantea conseguir a los alumnos en la parte del PBL correspondiente a la asignatura de CTR, a través de los cuales se desarrollan los resultados de aprendizaje descritos en la Tabla I, se detallan a continuación:

1. Partiendo del modelo *Simulink*® para el control de un inversor trifásico, desarrollado en la asignatura SEP, los alumnos deben:

- Implementar el bloque de control del inversor en lenguaje C, diseñando una *S-Function* de forma que la mayor parte del código sea portable a la plataforma DSP (RA2).
- Llevar la rutina de control validada al modelo de inversor trifásico desarrollado en la asignatura SEP y comprobar su funcionamiento (RA2).
- Validar el control mediante *S-Function* comparando resultados con el control mediante bloques que se realizan en la asignatura de SEP (RA4).

2. Una vez realizado el modelo en *Simulink*®, y comprobado su funcionamiento, los estudiantes tienen que implementar el control de dicho modelo dentro del DSP TI - F28335 que maneja un inversor real, siguiendo los siguientes pasos:

- Desarrollar las configuraciones necesarias sobre el DSP para llevar a cabo la correcta toma de medidas de tensión y corrientes a controlar sobre el motor asíncrono (RA1).
- Realizar la configuración del DSP, preparando el sistema para disponer de todos los elementos necesarios para ejecutar el mismo código validado en Matlab (RA2).
- Implementar el bloque de control en el DSP, el cual debe ser el mismo que el usado en la *S-Function* (RA3).
- Comprobar la correcta generación de consignas mediante la placa de experimentación y un osciloscopio (RA1).
- Hacer girar el motor de inducción mediante diferentes consignas de velocidad introducidas por el usuario en el entorno de desarrollo (CCS) y comprobar su velocidad real mediante la lectura del *encoder* de velocidad integrado en el eje del motor (RA4).

3. Finalmente, junto con la demostración del control realizado sobre la maqueta real del motor, los alumnos deben entregar un informe que recoge todos los pasos, medidas y desarrollos realizados.

De manera paralela y complementaria, se desarrolla la parte del PBL correspondiente a la asignatura SEP con un proyecto que se divide en dos fases. En una se trabaja el control de un inversor trifásico con modulación senoidal y con posibilidad de inyectar tercer armónico, y en otra, el control tensión-frecuencia de un motor de inducción con variantes opcionales relacionadas con la técnica de modulación empleada (escalar o vectorial) y la posibilidad de control realimentado de velocidad.

Las dos fases del proyecto, y sus tareas asociadas detalladas a continuación, están diseñadas para asegurar la consecución de los resultados de aprendizaje mostrados en la Tabla I.

1. En la primera fase se implementa bajo simulación el control de un convertidor DC-AC trifásico de 2 niveles basado en transistores IGBT. Los alumnos deben cubrir varias etapas:

- Definir y parametrizar los elementos que componen el sistema de potencia para una aplicación con receptor trifásico pasivo (RA1).
- Analizar e implementar, en un modelo basado en bloques, la modulación PWM escalar senoidal, seleccionando varios índices de modulación representativos que aseguren el funcionamiento del convertidor de potencia en las zonas lineal, saturada y onda cuadrada (RA2).
- Desarrollar el modelo conmutado de un convertidor DC-AC con modulación PWM escalar y posibilidad de inyección de tercer armónico, validando el funcionamiento del modelo con las tablas de distorsión armónica analizadas en las sesiones teóricas y disponibles en la documentación de referencia de la asignatura (RA3).
- Al finalizar la primera fase del proyecto, los alumnos presentan su trabajo al profesor entregando los modelos y los resultados comentados en un informe técnico donde se muestren las principales aportaciones realizadas al modelo y donde el análisis de resultados estará basado exclusivamente en resultados de simulación.

2. En la segunda fase se implementa bajo simulación el control V/f de un motor asíncrono empleando diferentes técnicas de modulación de convertidores. Los pasos seguidos por los alumnos son los siguientes:

- Definir y parametrizar los elementos que componen el sistema de potencia para una aplicación de control de velocidad de un motor asíncrono trifásico (RA1).
- Analizar e implementar, en un modelo basado en bloques, las modulaciones PWM escalar senoidal (SPWM), y opcionalmente la vectorial (SVPWM), con índices de modulación representativos que aseguren el funcionamiento del convertidor de potencia en las zonas lineales (RA2).

- Implementar en bloques el modelo del accionamiento eléctrico sin realimentación de velocidad o con control de velocidad en lazo cerrado mediante regulador PI discreto. Para ello, digitalizar todos los procesos y algoritmos de control como paso previo a la experimentación con la maqueta real. El bloque de control presenta las mismas entradas y salidas que la *S-Function* diseñada en la asignatura CTR. De esta manera son fácilmente intercambiables, e incluso, pueden formar parte del mismo modelo para realizar comparativas de funcionamiento. El tiempo de control viene impuesto por la rutina de control validada en el diseño de la *S-Function*. La simulación del modelo de sistema discreto debe confirmar que no hay errores en el proceso de digitalización (RA4).
- Desarrollar el modelo conmutado de un convertidor DC-AC con modulación PWM escalar/vectorial validando el funcionamiento del modelo con las capturas de señales realizadas sobre la maqueta real (RA5).
- Al finalizar la segunda fase del proyecto, los alumnos presentarán el proyecto completo entregando los modelos finales y los resultados comentados en un informe técnico que variará en extensión en función de la técnica de modulación y el tipo de control implementado. En este caso, el análisis de resultados estará basado en la comparativa de resultados con la experimentación con la maqueta real y con el modelo que incluye el bloque de control *S-Function* desarrollado en la asignatura CTR.

A modo de ejemplo, la Fig. 3 muestra la integración de ambas partes del PBL en el entorno de simulación. En el modelo implementado en bloques destaca el doble sistema de control diseñado en las dos asignaturas: en SEP, denominado “controlador PI discreto (V/f), y en CTR, denominado

“controlador S-FUNCTION (V/f). Ambos bloques comparten entradas y salidas, para facilitar su intercambio, y un tiempo de control de 200 μ s que viene impuesto por la rutina de control validada en el diseño de la *S-Function*. También es destacable el doble bloque de generación de disparos con técnicas de modulación por anchura de pulsos, diseñados ambos en SEP, para facilitar la aplicación de la modulación escalar (SPWM) o vectorial (SVPWM).

En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de la validación del control de velocidad desarrollado en cada asignatura con los resultados de experimentación con el inversor real. Se trata de los consumos de corriente en dos fases del motor para una consigna de funcionamiento de 600 r.p.m. El detalle de los máximos de corriente por fase confirma la precisión de los modelos de simulación.

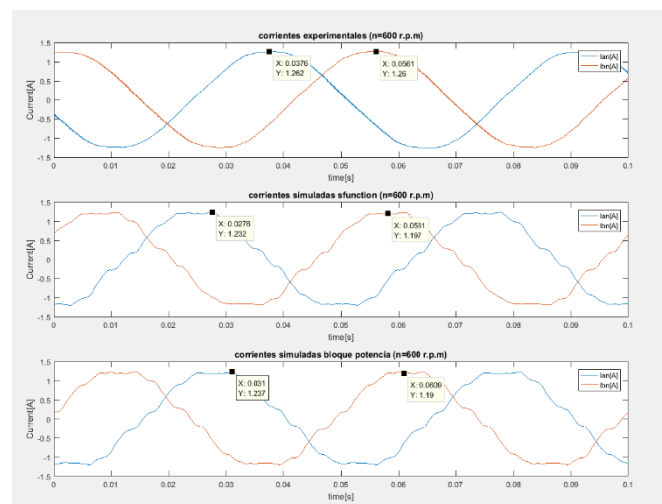


Fig. 4 Ejemplo de validación de resultados para los controles implementados en el PBL

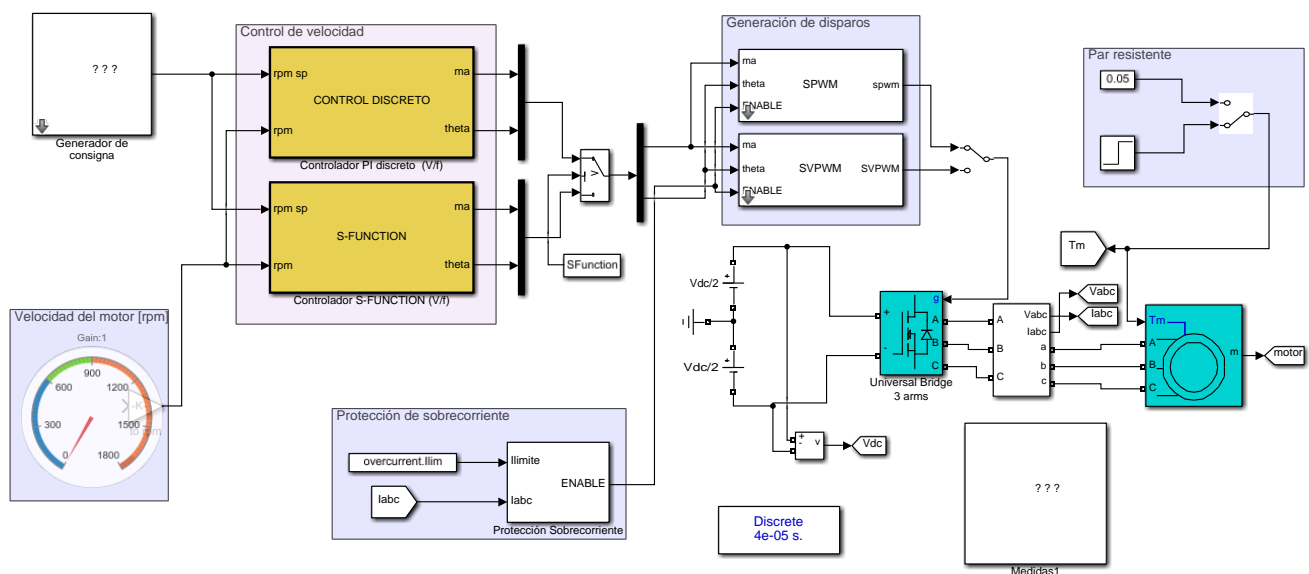


Fig. 3 Integración en el modelo de simulación de los bloques de control diseñados en el PBL.

V. SISTEMA DE EVALUACIÓN EMPLEADO

Si bien el PBL se plantea como un trabajo en grupos de 3 o 4 alumnos, el sistema de evaluación tiene en cuenta la necesidad de otorgar una nota a cada uno de ellos en cada una de las dos asignaturas en las que se enmarca el proyecto. Así, y con el objetivo de que los alumnos tengan claro el sistema de evaluación, cada profesor muestra a los alumnos cómo se evaluará su asignatura en el marco global del PBL propuesto.

El sistema de evaluación de la asignatura SEP contempla que los resultados obtenidos en el proyecto representan el 40% de la calificación final de la asignatura. Se plantea de la siguiente manera:

- a) Cumplimiento de los objetivos fijados en las dos fases principales del proyecto basadas en modelización, simulación y validación de un inversor DC-AC trifásico (50%). Los alumnos deberán realizar dos presentaciones del trabajo desarrollado al profesor que permitirán evaluar los resultados de aprendizaje presentados en la Tabla I. Se valorará la organización de los contenidos de la presentación, la claridad en las respuestas a las cuestiones y comentarios del profesor y, teniendo en cuenta el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizará una valoración técnica del trabajo realizado.
 - Presentación de la primera fase del PBL (10%). Deberán mostrar el modelo conmutado de un convertidor DC-AC con modulación PWM escalar y posibilidad de inyección de tercer armónico. Permite la evaluación de los resultados de aprendizaje RA2 y RA3.
 - Presentación de la segunda fase del PBL (30%). Deberán mostrar el modelo conmutado de un inversor DC-AC que alimenta un motor de inducción con un control V/f sin captación de velocidad. Permite la evaluación de RA4 y RA5.
 - La correcta definición y parametrización de los elementos que componen los sistemas de potencia desarrollados en ambas fases, en base a las especificaciones fijadas para el proyecto, permitirá evaluar RA1 (10%).
- b) Documentación de las fases del proyecto con los resultados comentados. Serán dos informes con un 20% en el peso final de la nota del PBL. Se valorarán aspectos como la claridad de redacción, la estructura del informe (objetivo, alternativas, resultados, conclusiones), la calidad de los resultados de simulación presentados y las conclusiones obtenidas.
 - Informe técnico de la primera fase del PBL (10%). Basándose exclusivamente en resultados de simulación, incluirá las principales aportaciones realizadas al modelo. Permite la evaluación de RA2 y RA3.
 - Informe técnico de la segunda fase del PBL (10%). Estará basado en la comparativa de resultados con la experimentación con la maqueta real y con el modelo que incluye el bloque de control *S-Function* desarrollado en la asignatura CTR. La nota es compartida con el informe de la asignatura CTR y permite evaluar RA4 y RA5.

- c) Desarrollo, presentación y documentación de opciones adicionales (30%). Como ampliación de la segunda fase del PBL se plantean opciones avanzadas de control de velocidad del motor de inducción, en lazo cerrado mediante regulador PI discreto, y variantes de técnicas de modulación, con especial énfasis en la opción vectorial. Se valorarán especialmente las aportaciones realizadas en la fase opcional que no estén recogidas explícitamente en las especificaciones del proyecto. El desarrollo de las partes opcionales del PBL afianza la obtención de los resultados de aprendizaje RA4 y RA5 y, por tanto, permite complementar su evaluación.

Respecto a la asignatura CTR, el sistema de evaluación empleado para calificar el trabajo de los estudiantes en el PBL, con un peso del 50% en la nota final de la asignatura, es el siguiente:

- a) Cumplimiento de los objetivos: 50% de la calificación del proyecto. Se comprobará que el programa simulado sobre la *S-Function* y que se descarga y ejecuta posteriormente en el DSC, realiza lo que las especificaciones del proyecto indican que debe hacer, es decir cumple los requerimientos mínimos de ejecutar el control V/f sobre el motor, haciéndolo girar la velocidad de consigna definida desde consola por un usuario. De este modo, se evalúa el RA1 de la asignatura.
- b) Informes de descripción del trabajo realizado (15% de la calificación del proyecto):
 - Informe de validación de la rutina de control (10%). Informe completo que debe recoger: la comparación de los resultados obtenidos en simulación mediante control por bloques en tiempo discreto en *Simulink*[®], control por *S-Function* y resultados reales medidos con osciloscopio sobre la maqueta real. Cuantificación de los errores, origen de las diferencias. Nota compartida con el informe de la asignatura SEP. Se evalúan los resultados de aprendizaje RA1 y RA4
 - Código implementado sobre el DSC (5% de la nota). Se valora el estilo del código fuente: legibilidad y comprensión. Calidad de los comentarios internos del programa, del uso de ficheros de cabecera .h, funciones bien comentadas, estructuras ordenadas, etc. Este concepto evalúa el resultado de aprendizaje RA3.
- c) Implementación de opciones adicionales (15% de la calificación del proyecto). Estas implementaciones son partes opcionales que se ofrecen a los alumnos como posibilidades para obtener más nota y realizar un proyecto más completo, como puede ser la ejecución de un control PID en base a la lectura de la velocidad real del motor. También se valorarán las mejoras personales que el equipo de programación haya incluido por su propia iniciativa, aunque no estén en las especificaciones del proyecto.
- d) Test individual (20%): tras la presentación del proyecto por grupos, se responderá a un test acerca del proyecto entregado de forma individual. En este test se evalúan los 4 resultados de aprendizaje contemplados para la asignatura en el Tabla 1.

VI. CONCLUSIONES

El artículo aquí presentado muestra el trabajo realizado por los profesores de las asignaturas Control en tiempo real de dispositivos industriales y Sistemas electrónicos de potencia para definir los objetivos de aprendizaje, etapas de desarrollo y sistema de evaluación, que permiten a los alumnos del MUAECI llevar a cabo un PBL compartido en ambas asignaturas.

Este trabajo nace de la necesidad de ofrecer a los alumnos unos objetivos lo más cercanos y similares a los que se van a enfrentar en su vida profesional y en donde deben desarrollar competencias y combinar conocimiento de diferentes asignaturas de manera coordinada.

Si bien los autores no realizan un cuestionario para recoger las impresiones de los estudiantes sobre el planteamiento del PBL, las encuestas globales del máster si revelan que el planteamiento de un máster basado casi íntegramente en un sistema de aprendizaje basado en PBLs combinados entre varias asignaturas, es bien acogido y valorado por los alumnos. Entre las impresiones recogidas, cabe destacar la nota positiva que otorgan a la coordinación entre asignaturas, lo que es mandatorio en el planteamiento de PBLs para su correcto desarrollo. Queda como trabajo futuro el realizar ese análisis de satisfacción del PBL aquí propuesto.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto IoTrain (RTI2018-095499-B-C33) por parte del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

- [1] González, J. and Wagenaar, R. (2003), "Quality and European Programme Design in Higher Education". *European Journal of Education*, 38, pp. 241–251.
- [2] González, J. and Wagenaar, R. "Tuning Educational Structures in Europe. Final Report-Phase One", University of Deusto and University of Groningen, 2003
- [3] Accreditation Board for Engineering and Technology, Baltimore, MD, USA, "Engineering criteria 2000," 2011.
- [4] Libro Blanco, Título de Ingeniero en electrónica y automática. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. Abril 2004
- [5] Hernandez-Leo, D.; Oliver, V.M.; Doderio, J.M.; Pardo, A.; Romero-Ternero, M.; Dimitriadis, Y.; Asensio-Perez, J.I., "Applying Recommendations to Align Competences, Methodology, and Assessment in Telematics, Computing, and Electronic Engineering Courses", *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol.8, no.1, pp.15,22, Feb. 2013
- [6] Chien-Chou Shih; Lain-Jinn Hwang, "Learning Embedded Software Design in an Open 3A Multiuser Laboratory," *IEEE Trans. Educ.*, vol.54, no.2, pp.279,285, May 2011
- [7] Gustavsson, I.; Nilsson, K.; Zackrisson, J.; Garcia-Zubia, J.; Hernandez-Jayo, U.; Nafalski, A.; Nedic, Z.; Gol, O.; Machotka, J.; Pettersson, M.I.; Lago, T.; Hkansson, L., "On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories," *IEEE Trans. Learning. Tech.*, vol.2, no.4, pp.263,274, Oct.-Dec. 2009
- [8] S.A. Ambrose et al., "How Learning Works: Seven Research Based Principles for Smart Teaching," Jossey-Bass/Wiley, 2010
- [9] M. Prince, "Does Active Learning Work? A Review of the Research," *J.Eng. Educ.*, vol. 93, no. 3, pp. 223-232, 2004.
- [10] J. Flores-Arias, A. Moreno-Munoz, F. J. Bellido and M. Linan, "Active learning in power electronics: From classroom to laboratory," *IEEE EDUCON 2010 Conference*, Madrid, 2010, pp. 1451-1454.
- [11] P. A. Sanger and J. Ziyatdinova, "Project based learning: Real world experiential projects creating the 21st century engineer," 2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), Dubai, 2014, pp. 541-544
- [12] M.J. Bezanilla, "Teaching and learning with ALUD: a course management system that incorporates a pedagogical model", in *Proc. International Conference on Education and New Learning Technologies*, pp. 675-686, 2009
- [13] El modelo de Formación de la Universidad de Deusto (MFUD), Unidad de Innovación Docente, Unidad de Innovación Docente. Universidad de Deusto. 2016
- [14] Rashid, M.H. *Power Electronics: Circuits, Devices & Applications*, 4/E, Pearson Prentice Hall, 2014

Catálogo de experimentos remotos en VISIR para circuitos electrónicos básicos

Javier García-Zubía, Unai Hernández Jayo, Susana Romero Yesa

Facultad de ingeniería, Universidad de Deusto
Avda. Universidades 24, 48007 Bilbao, España
zubia@deusto.es

Jordi Cuadros Margarit, Vanessa Serrano Molinero

IQS-Universidad Ramón Llull
Vía Augusta, 390, 08017 Barcelona
jordi.cuadros@iqs.url.edu

Abstract—VISIR es el laboratorio remoto más conocido y premiado, especialmente en el ámbito de la electrónica. El trabajo presenta el catálogo de circuitos electrónicos y eléctricos básicos que la Universidad de Deusto despliega en diferentes asignaturas de distintos grados. El objetivo de este trabajo es presentar y debatir con la comunidad TAEE su aplicación curricular y su valor educativo en el aula.

Keywords— Laboratorio remotos, VISIR, circuitos eléctricos y electrónicos

I. INTRODUCCIÓN

VISIR [1] es un laboratorio remoto centrado en el montaje y medida de circuitos eléctricos y electrónicos básicos y ha sido desarrollado por el Blekinge Institute of Technology, BTH, en Suecia bajo la coordinación de Ingvar Gustavsson, desgraciadamente fallecido hace unos años.

VISIR en la actualidad es un consorcio que engloba a distintas universidades y cuenta con despliegues en Suecia, España, Portugal, USA, Austria, Alemania, India, Marruecos, Georgia, Costa Rica, Argentina y Brasil. Es un proyecto activo tanto en el ámbito docente como en investigación, dando lugar a proyectos europeos específicos como PILAR y VISIR+. VISIR es un proyecto bien conocido por la comunidad investigadora y cuenta con cerca de 100 publicaciones que tienen a VISIR como elemento principal.

VISIR recibió en el 2015 el Premio al Best Remote Lab concedido por GOLC (Global Online Laboratory Consortium) en su primera edición, e Ingvar Gustavsson recibió *in memoriam* en 2018 el Maffioli Award de la European Society for Engineering Education (SEFI).

Este trabajo pretende atraer a profesores al VISIR para su desarrollo académico e investigador y su estructura pretende ser un catálogo y una guía de buenas prácticas con VISIR. Las secciones 2 y 3 describen VISIR en general y en la Universidad Deusto. La cuarta sección es la más larga y es un catálogo de experimentos y actividades en VISIR. La sección 5 describe el VISIR desde el punto de vista de Learning Analytics, mientras que la sexta sección aborda la evaluación pedagógica de VISIR. La séptima sección está dedicada a las conclusiones y el trabajo futuro.

II. VISIR EN LA UNIVERSIDAD DE DEUSTO

El VISIR en la Universidad de Deusto está basado en la última distribución HTML5 y dispone de 14 tarjetas de componentes, fuente de continua, generador de funciones,

osciloscopio y un único multímetro todo ello con un coste superior a los 30.000 euros. VISIR se ofrece al alumno dentro de WebLab-Deusto, lo que obvia parte del diseño original de VISIR.

VISIR en la UDeusto ha sido usado en los últimos diez años por al menos diez profesores en seis asignaturas distintas de cinco grados en ingeniería de dos campus. En este tiempo los alumnos han abierto más de 80.000 sesiones y han llevado a cabo más de 2.000.000 de medidas en circuitos. En todo este tiempo el VISIR ha estado caído solo en dos ocasiones por problemas técnicos. Lo anterior da idea de su utilidad y confiabilidad, dos características apreciadas por el profesor.

Específicamente, en el curso 2018-2019 más de 200 alumnos usaron VISIR, abrieron 10.881 sesiones y llevaron a cabo 282.051 medidas de circuitos. En este año hubo un problema técnico ya que “quemamos” un relé haciendo pruebas con circuitos LC.

III. CÓMO FUNCIONA VISIR

VISIR está implementado mediante un equipo PXI de NI que cuenta con un ordenador, multímetro, generador de ondas, fuente de continua y osciloscopio. A estos instrumentos de medida se une un conjunto de 14 tarjetas que con sus relés conectan los dispositivos incluidos en las mismas: resistencias, diodos, condensadores, etc. Una descripción técnica detallada se encuentra en [1].

Al entrar en VISIR el alumno se encuentra con la interface de la Fig. 1. En la parte superior encuentra los dispositivos (resistencias, condensadores, etc.) que puede combinar para crear su circuito mediante cables en la parte de la protoboard (ver Fig. 2).

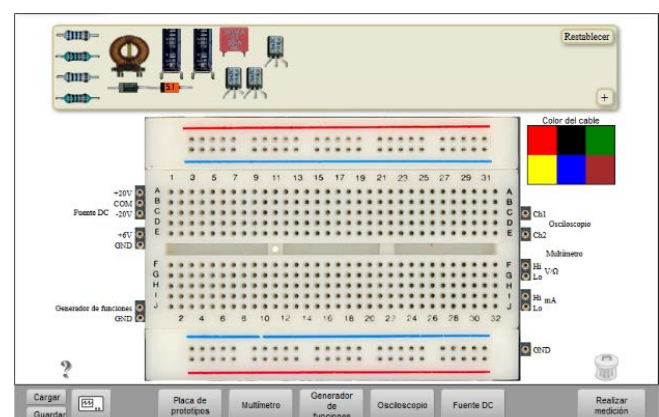


Fig. 1. Interface de VISIR

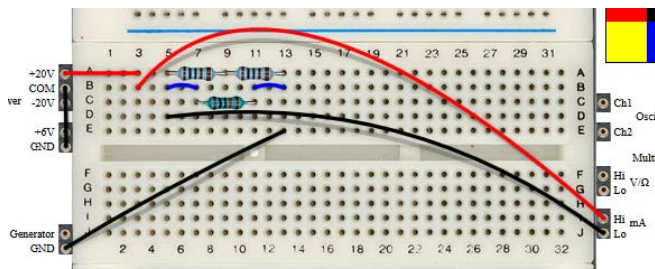


Fig. 2. Circuito montado en la protoboard de la interface de VISIR

Una vez montado y alimentado el circuito DC, falta conectar el multímetro para medir la tensión o intensidad deseada (ver Fig. 3). En el caso de un circuito AC, se usará el generador de funciones y el osciloscopio o el multímetro.



Fig. 3. Fuente de alimentación y multímetro de VISIR

Cuando el alumno hace clic en Perform Measurement/Realizar medición, entonces el VISIR detecta qué relés debe abrir/cerrar en las 14 tarjetas de componentes. Claramente, toda vez que el número de tarjetas es fijo, el alumno no puede crear cualquier circuito con cualquier dispositivo, sino que solo puede crear aquellos que han sido incluidos en VISIR-Deusto y que se verán más adelante.

La gestión de las tarjetas de componentes, de los relés y de los ficheros que lo controlan todo es un trabajo que exige disponer de una persona con formación en VISIR.

El sistema descrito anteriormente tiene una característica adicional muy importante: las medidas están multiplexadas. En el diseño original Ingvar Gustavsson consideró que varios alumnos podrían acceder a la vez al VISIR de manera que podrían ordenar medidas simultáneamente. VISIR simplemente multiplexa sus recursos cada 10 ms aproximadamente, esto es, cuando el alumno hace clic en Perform Measurement: la interface envía el circuito montado por el alumno, VISIR lo monta y mide y le devuelve el resultado en ms. De esta forma cada alumno parece tener el control de todo el VISIR, sin compartirlo, pero no es así. VISIR recomienda no pasar de 50 alumnos conectados simultáneamente, pero en UDeusto hemos accedido más de 100 personas a la vez con un retardo de unos 2-3 segundos.

Una ventaja del multiplexado y de que sea un experimento remoto es que alumnos de otras universidades y países pueden acceder al VISIR-Deusto. Esto es especialmente sencillo o positivo en Iberoamérica ya que cuando en España es de noche, allí es de día y por lo tanto compartir el recurso no tiene ninguna desventaja.

IV. USO EN EL AULA DE VISIR-DEUSTO

Toda vez que el VISIR es un experimento real digitalizado o computerizado vía Internet, entonces puede ser utilizado en clase con facilidad, lo que potencia el trabajo del profesor.

En general el profesor explica la teoría en el aula y luego más adelante el alumno la comprueba en el laboratorio clásico. Esta comprobación muchas veces consiste en comprobar la bondad del modelo matemático desarrollado en el aula. Esta separación entre teoría y práctica conlleva que muchas veces el alumno ya no recuerde muy bien cuál era el objetivo de aprendizaje. Ahora bien, usando VISIR en un aula con ordenadores, mientras el profesor explica un modelo matemático o una teoría, él puede refrendarla mediante un experimento compartido con los alumnos. Teoría y práctica se dan simultáneamente bajo un enfoque de indagación. VISIR, claramente, es una herramienta de Technology Enhanced Learning (TEL).

A continuación se van a describir algunos casos de uso de VISIR en el aula de electrónica en la UDeusto. Estos ejemplos quieren mostrar el potencial didáctico de VISIR.

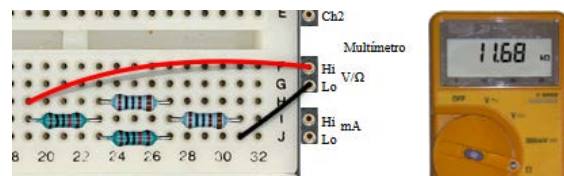
A. Circuitos DC

VISIR-Deusto cuenta con cuatro resistencias, 2 de 1 kΩ y 2 de 10 kΩ que pueden ser conectadas de cualquier manera y alimentadas con una fuente DC de 0 V-20 V.

En este momento es importante una aclaración. Ya se ha dicho que cada VISIR dispone de un conjunto finito de relés que debe “aprovechar” según su criterio. En UDeusto hemos preferido usar pocas resistencias, pero que el alumno las pueda combinar de cualquier manera. Otras universidades, prefieren manejar un conjunto mayor de circuitos, pero que en ellos el alumno no pueda hacer modificaciones a su gusto.

1) Asociación de resistencias

En nuestro caso creamos un Google Sheet compartido con los alumnos con 20 circuitos a montar y medir. Los alumnos lo hacen de forma simultánea en clase de manera que pueden ver si lo medido por ellos (ver Fig. 4) coincide con lo medido por sus compañeros o por el profesor. En nuestro caso, además el alumno comprende el concepto de error en la medida.



valor calculado	error absoluto	error %	valor medio	desv típica	medida O rubia	medida Julen	medida eli	medida Borja	medida Alex
2000	21.38	1.06	1,978.88	6.251	1,977.00	1,977.00	1,977.00	1,977.00	1,977.00
20000	49.48	0.25	19,951.88	4.471	19,958.00	19,958.00	19,958.00	19,958.00	19,958.00
11000	48.88	0.44	10,952.88	5.231	10,958.00	10,958.00	10,958.00	10,958.00	10,958.00
11000	28.88	0.18	10,988.88	5.181	10,988.00	10,988.00	10,988.00	10,988.00	10,988.00
500	2.55	0.51	497.45	8.891	497.58	497.58	497.58	497.58	497.58
5000	57.45	1.15	4,942.55	3.891	4,943.00	4,943.00	4,943.00	4,943.00	4,943.00
909.1	1.12	0.12	907.98	0.861	907.88	907.88	907.88	907.88	907.88
22000	189.58	0.82	21,819.58	5.181	21,828.00	21,828.00	21,828.00	21,828.00	21,828.00
7000	61.98	0.88	6,938.98	1.821	6,938.00	6,942.00	6,938.00	6,938.00	6,938.00

Fig. 4. Experiencia de conexión y medida con resistencias

El profesor decidirá si da a sus alumnos el modelo matemático durante la clase o si los alumnos pueden descubrirlo mediante indagación apoyada por el profesor. Parece fácil para la asociación en serie, y algo más complejo para el paralelo.

2) Leyes de Ohm y de Kirchhoff

La primera Ley de Kirchhoff suele causar asombro en el alumno al ver que añadir nuevas resistencias en paralelo no modifica la corriente de la primera resistencia. En este caso el profesor y el alumno pueden medir y analizar la corriente en cada caso.

En la Fig. 5 se ve que para $1\text{ k}\Omega$ alimentado con 6 V la corriente es de casi 6 mA . La Fig. 7 muestra cómo al añadir $10\text{ k}\Omega$ en paralelo, la corriente en la rama de $1\text{ k}\Omega$ no ha cambiado.

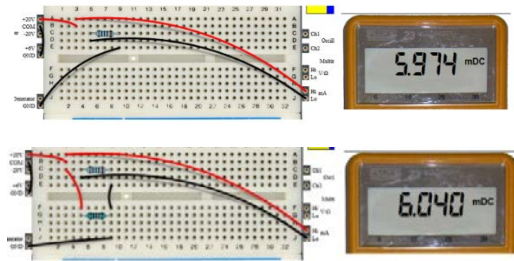


Fig. 5. Ley de Kirchhoff y medida de corriente

Una pregunta que le surge al profesor que usa VISIR es ¿qué pasa si el circuito del alumno no es correcto? ¿lo corrige? ¿le advierte? La respuesta es que VISIR no da ningún mensaje al alumno cuando no mide bien (ver Fig. 6), comportándose como un puesto de trabajo de laboratorio clásico.

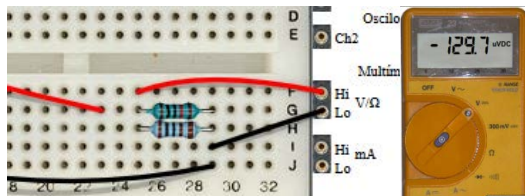


Fig. 6. Circuito erróneo en VISIR

El único mensaje que ofrece VISIR es cuando el alumno intenta crear un circuito que es peligroso (ver Fig. 7), generalmente creando un cortocircuito, o cuando intenta crear un circuito que no existe en las tarjetas de componentes y relés de nuestro VISIR.

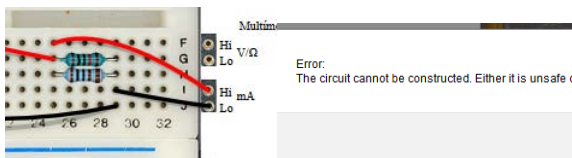


Fig. 7. Circuito peligroso o no existente en VISIR

3) Teorema de transferencia de máxima potencia

De nuevo el profesor puede plantear este problema desde un planteamiento matemático o desde un experimento. En este caso VISIR-Deusto plantea el experimento asociando a la fuente DC una resistencia, R_s , de $1\text{ k}\Omega$, mientras que a R_o se le pueden asignar uno a uno los siguientes valores: $100\text{ }\Omega$, $470\text{ }\Omega$, $1\text{ k}\Omega$ y $10\text{ k}\Omega$ (ver Fig. 8). Además, el alumno con cierto ingenio puede obtener nuevas resistencias mediante combinaciones de otras, por ejemplo puede probar con $5\text{ k}\Omega$ mediante la asociación en paralelo de dos resistencias de $10\text{ k}\Omega$.

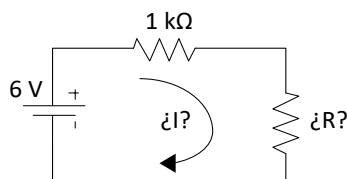


Fig. 8. Circuito del experimento de máxima potencia

Para este experimento es perfecto contar con dos multímetros, uno para medir corriente y otro para tensión. Este no es el caso de UDeusto, pero sí de otros VISIR como el UFSC en Brasil o el de ISEP en Portugal.

B. Circuitos AC

El enfoque con circuitos básicos de alterna es el mismo: indagar mediante experimentación en los fundamentos y modelos matemáticos.

1) Cálculo del valor eficaz de una señal de alterna

Una primera experiencia para que el alumno tome contacto con el generador de funciones y el osciloscopio consiste en que el alumno mida el valor eficaz, V_{rms} , de distintos tipos de señal (sinusoidal, cuadrada, triangular y diente de sierra) con distintas amplitudes y frecuencia. De nuevo estas medidas se pueden repartir entre los alumnos de clase mediante Google Sheet para finalmente analizar o encontrar entre todos la relación que hay entre V_{max} y V_{rms} . Además, el profesor podrá abordar el problema matemáticamente.

La Fig. 9 muestra la medida de V_{max} y V_{rms} de una sinusoidal de 10 Vpp de 1 kHz . Los valores obtenidos son $V_{max}=5,088\text{ V}$ y $V_{rms}=3,545\text{ V}$, y el cociente es $1,44$, más o menos raíz de 2.

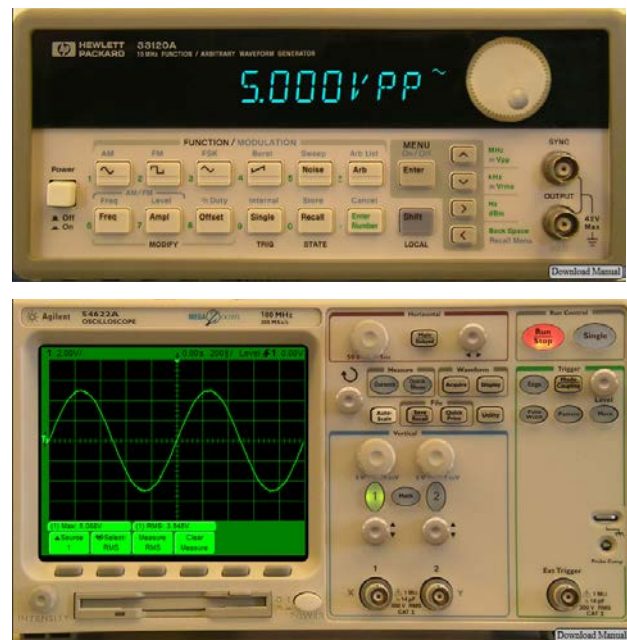


Fig. 9. Medidas de señales de alterna

2) Aplicación del teorema de transferencia de la máxima potencia

Como se ve en Fig. 9, resulta que el valor introducido como V_{pp} es de 5 V , en vez de los 10 V del enunciado ¿por qué? La razón estriba en la diferencia entre la impedancia esperada por el generador de funciones ($50\text{ }\Omega$, la misma que la del generador) y la aportada por el osciloscopio, que es de $1\text{ M}\Omega$ aproximadamente. El profesor tiene en esta situación un buen ejemplo de aplicación del teorema ya nombrado.

3) Circuito RC como filtro paso bajo

En VISIR-Deusto el profesor puede abordar el análisis de un simple circuito RC donde R puede tomar los valores $1\text{ k}\Omega$ y $10\text{ k}\Omega$ y C puede tomar los valores $1\text{ }\mu\text{F}$, $10\text{ }\mu\text{F}$ y $0,1\text{ }\mu\text{F}$.

La Fig. 10 muestra un RC con $1\text{ k}\Omega$ y $1\text{ }\mu\text{F}$ y su comportamiento frente a una sinusoidal de 10 Vpp y 500 Hz .

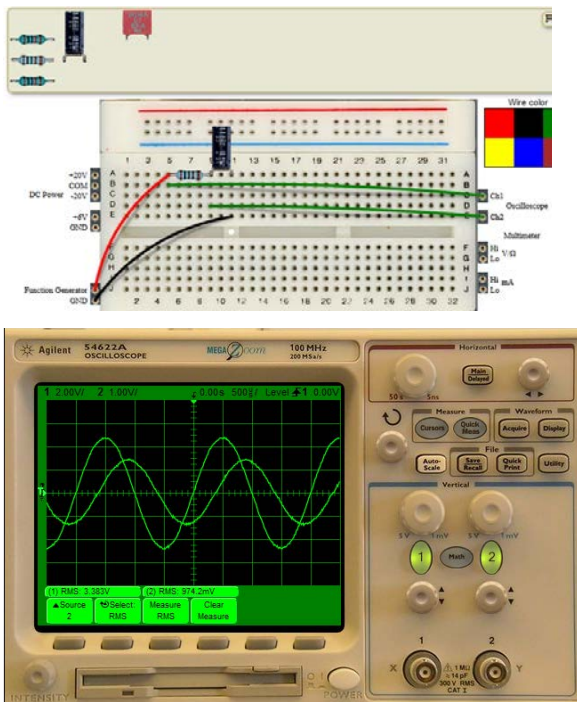


Fig. 10. Montaje y visualización en el osciloscopio de un RC

En este caso $V_{rms,sal}/V_{rms,ent}$ es del 29% aproximadamente. Y el retardo es de 400 μs , 1,26 rd. Las medidas para distintos circuitos pueden ser de nuevo compartidas entre los alumnos.

4) Cálculo y medida de X_C

En el experimento anterior se pueden medir V_{rms} e I_{rms} en el condensador, y de esta manera calcular X_C como V_{rms}/I_{rms} . La Fig. 11 muestra los valores obtenidos para el circuito anterior.

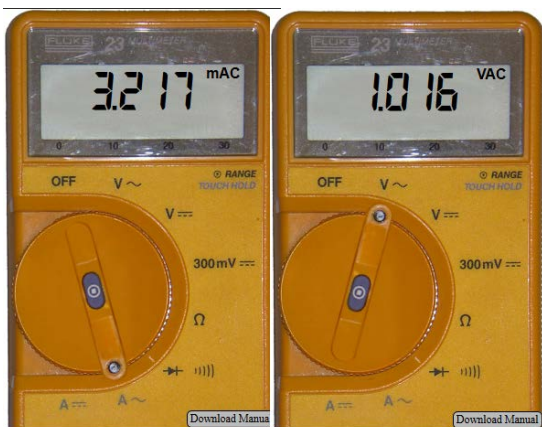


Fig. 11. Medidas de corriente y tensión en el condensador de un RC

En este caso X_C vale 315 Ω experimentalmente, mientras que mediante el cálculo es $X_C = 1/(\omega \cdot C) = 318 \Omega$. Es decir, ambos resultados coinciden.

5) Cálculo y medida de X_L

Igual que con el condensador se puede proceder con la bobina. En este caso $X_L = \omega \cdot L$.

VISIR-Deusto permite combinar $R=100 \Omega$ con $L=10 \text{ mH}$ y 100 mH. El alumno repetirá el proceso anterior y esperará confirmar la validez experimental de la expresión matemática. Por tanto si se trabaja con una señal sinusoidal de 100 Hz, 5

V_{pp} , $R=100 \Omega$ y $L=10 \text{ mH}$, entonces por un lado se espera obtener $X_L = 2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,01 = 6,28 \Omega$, pero curiosamente los valores V_{ef} e I_{ef} que se obtienen son los de la Fig. 12.



Fig. 12. Medidas de corriente y tensión en el condensador de un RL

Por tanto

$$X_L = \frac{0,377}{0,00923} = 40,85 \Omega \text{ ¿es igual a } 6,28 \Omega?$$

En este caso el resultado experimental no coincide con el teórico, ¿por qué? La razón estriba en que la bobina no solo presenta un comportamiento inductivo, sino también uno resistivo, y dependiente de la frecuencia.

6) Obtención de la frecuencia de corte

En un circuito RC la frecuencia de corte, f_c , es un valor que indica que para esa frecuencia, $V_{ef,o}/V_{ef,i}$ es de un 70% aproximadamente, un filtrado del 30%. Teóricamente este valor es

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

De nuevo el planteamiento es si se puede comprobar la validez de la expresión matemática. El alumno debe diseñar el experimento que le permita validar o refutar lo anterior. El osciloscopio de la Fig. 13 muestra los resultados para un circuito $R=1 \text{ k}\Omega$, $C=1 \mu\text{F}$, $f=160 \text{ Hz}$ y 10 Vpp en la entrada.

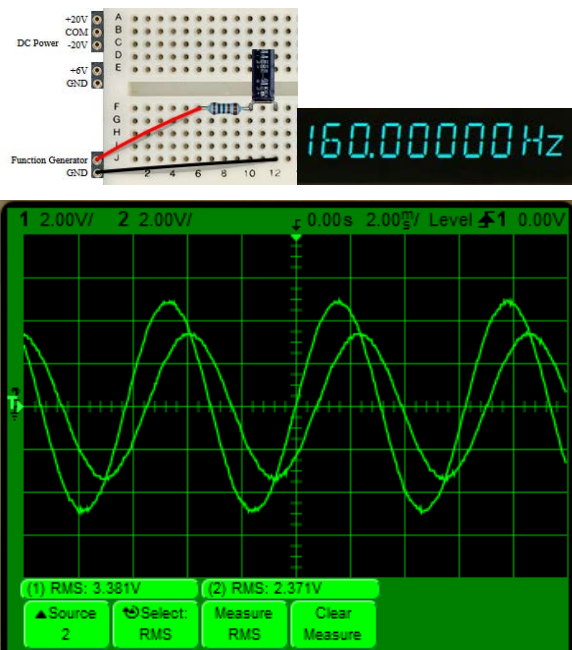


Fig. 13. Experimento con la frecuencia de corte de un RC

En el osciloscopio se observa que lo obtenido coincide con lo esperado:

$$\frac{V_{ef,o}}{V_{ef,i}} = \frac{2,371}{3,381} = 70\%$$

En este momento el profesor puede plantear al alumno que descubra o compruebe si existe una relación entre un % de filtrado y una frecuencia expresada como múltiplo de f_c . Por ejemplo, para $5 \cdot f_c$ el filtrado es del 80%, es decir, la salida es el 20% de la entrada. La Fig. 14 muestra los resultados para 800 Hz. Se ve que

$$\text{para } 900 \text{ Hz } \frac{V_{ef,o}}{V_{ef,i}} = \frac{0,61}{3,5} = 17\% \approx 20\%$$

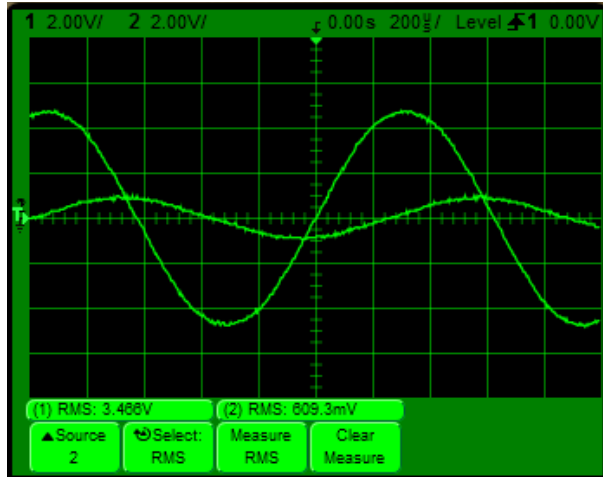


Fig. 14. Filtrado de señales en un circuito RC

¿Ocurre lo mismo para $10 \cdot f_c$ y un filtrado del 90%?

7) Comportamiento lineal de un circuito RC

En algunos casos el alumno tiende a ver un comportamiento lineal en un circuito RC. Según sean los valores, ve que según se doble la frecuencia, se reduce a la mitad la tensión de salida (Por ejemplo con 1 k Ω , 1 μ F y $f=250, 500$ y 1000 Hz). Sin embargo esto no es así.

En este caso el profesor puede plantear al alumno que para un circuito RC (1 k Ω y 1 μ F) mida la tensión de salida y el desfase en radianes para distintas frecuencias. Si además el profesor anima al alumno a usar una escala en decibelios, entonces podrá introducir el diagrama de Bode y podrá marcar la importancia de la f_c en este tipo de diagramas.

La figura 15 muestra los resultados del anterior circuito para distintos valores de f .

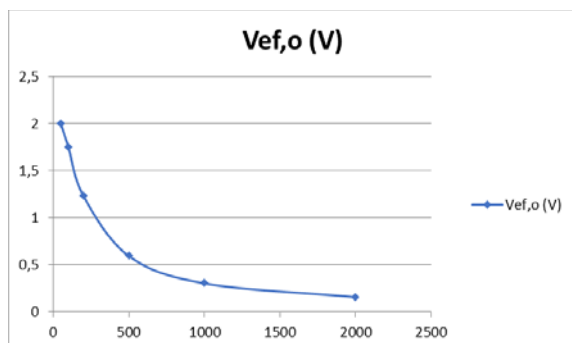


Fig. 15. Variación de la tensión en C frente a la frecuencia de entrada

8) Desfase entre la tensión del condensador y la de la resistencia

El estudio analítico de un circuito RC muestra que las tensiones en el condensador y la resistencia están desfasadas $\pi/2$ radianes, sean cuales sean los valores de R, C y f .

La Fig. 16 muestra cómo obtener la tensión en la resistencia. El osciloscopio de VISIR permite superponer sobre los dos canales, Ch1 y Ch2, la imagen de Ch1-Ch2 o de Ch1+Ch2. En este caso, se visualiza Ch1-Ch2, y así $v_i(t) - v_c(t) = v_r(t)$.

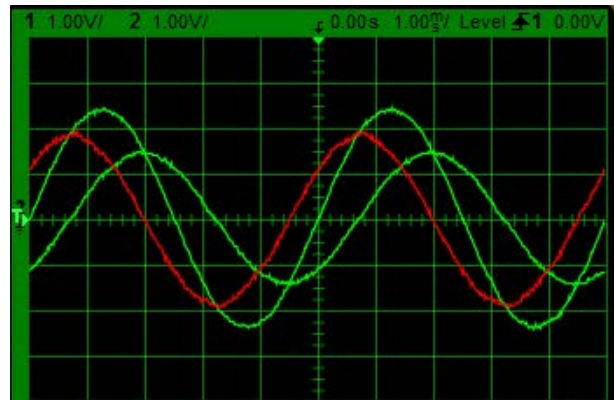


Fig. 16. Señales v_i , v_r y v_c en un circuito RC

Leyendo la Fig. 18 se ve cómo el desfase entre $v_c(t)$ (Ch2) y $v_r(t)$ (Ch1-Ch2, señal roja) es de $\pi/2$ rd.

9) Circuito RC con entradas no sinusoidales

En las anteriores prácticas el alumno ha descubierto o comprobado el comportamiento de un circuito RC frente a distintas entradas sinusoidales, pero ¿qué ocurre si la entrada es una triangular, una cuadrada o un diente de sierra?

Seguramente el alumno pensará que la salida será una triangular de igual frecuencia, menor valor eficaz y retardada un tiempo. Sin embargo la Fig. 17 muestra el resultado de excitar un circuito RC, $R=1$ k Ω y $C=1$ μ F, con una triangular de 300 Hz y 5 Vpp.

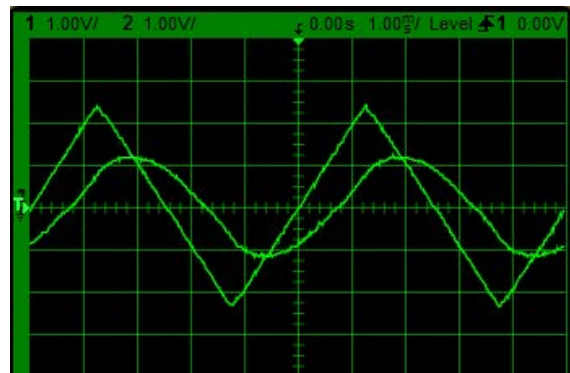


Fig. 17. Salida de un circuito RC frente a una señal triangular de entrada

La salida no es una señal triangular, si acaso lo es sinusoidal. En este momento el profesor puede remarcar que no se debe esperar nada de un experimento, que primero corresponde observar y medir, y luego analizar. Desde el punto de vista teórico, el profesor puede introducir la serie de Fourier y reforzar el comportamiento del RC como un filtro paso bajo.

10) Comportamiento de un circuito CR

Si un circuito RC se comporta como un filtro paso bajo, un circuito CR es un circuito paso alto. El alumno puede analizar su comportamiento utilizando las herramientas ya vistas hasta ahora.

La Fig. 18 muestra el comportamiento del circuito RC de la Fig. 17 solo que en este caso R y C se han intercambiado en el circuito. Como se puede ver en Fig. 18, lo que antes era la salida, Ch2, es ahora Ch1-Ch2.

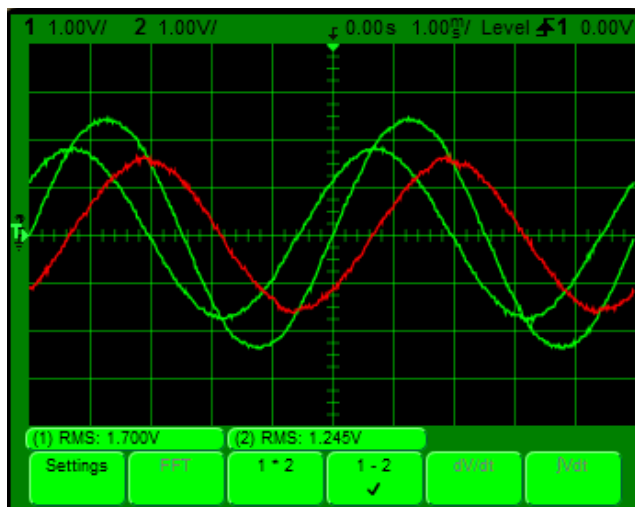


Fig. 18. Comportamiento de un circuito CR

11) Respuesta transitoria de un RC, carga y descarga de un condensador

Hasta ahora se ha visto la respuesta de un circuito RC frente a una entrada sinusoidal y en régimen permanente, pero también tiene interés ver cómo se carga y descarga un condensador frente a un cambio brusco en la entrada, frente a una señal cuadrada.

En este la resolución analítica del circuito indica que la carga y descarga del condensador es exponencial según una constante de tiempo $\tau = R \cdot C$. Según la resolución matemática del circuito, en el instante τ la salida alcanza más o menos el 63% del valor final.

La Fig. 19 muestra el comportamiento de un circuito RC ($R=1\text{ k}\Omega$ y $C=1\text{ }\mu\text{F}$) frente a una entrada cuadrada de 100 Hz y 5 Vpp.

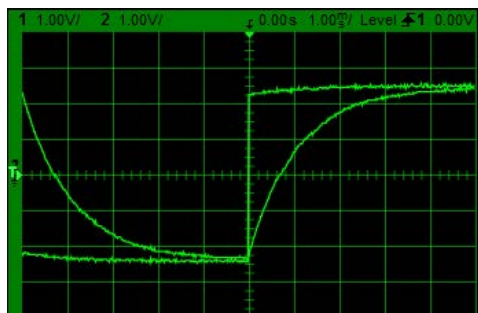


Fig. 19. Respuesta transitoria de un RC frente a un escalón

Análíticamente el valor de es $\tau = R \cdot C = 1\text{ ms}$. La excursión de la señal de entrada y de salida es de 5 V (desde -2,5 V a 2,5 V) y dicha excursión alcanza el 63% para 0,65 V. Mirando la gráfica vemos que la salida alcanza el valor 0,65 V más o menos para 1 ms, y por lo tanto lo experimental y lo analítico coinciden. Desgraciadamente la versión HTML5 de VISIR todavía no contempla el uso de los cursores (la versión Flash sí lo hacía), aunque hay varias personas trabajando en ello.

Igual que ocurría con f_c , con τ se puede plantear al alumno:

- para $0,7 \cdot \tau$ la salida alcanza el 50% de la excursión de la entrada,
- para $5 \cdot \tau$ se puede decir que el condensador está cargado (o descargado)
- para $2,2 \cdot \tau$ la salida pasa del 10% al 90% del valor final

C. Circuitos con diodos

A continuación se describen algunos de los circuitos de los que dispone VISIR-Deusto para trabajar con diodos.

1) Caracterización del diodo

Igual que antes se han caracterizado la resistencia, el condensador y la bobina, también se puede caracterizar el diodo, aunque este es un dispositivo más rico y complejo.

Para obtener la curva característica del diodo, VISIR-Deusto ofrece un diodo 1N4007 y dos resistencias una de $6\text{ }\Omega$ y $25\text{ k}\Omega$ y otra de $1\text{ k}\Omega$. La primera resistencia nos permite medir la intensidad respetando la resistencia interna del diodo, mientras la segunda nos permite medir la intensidad para un mayor rango de variables de entrada.

La Fig. 20 muestra el circuito de caracterización para un diodo 1N4007 con una resistencia de $6\text{ }\Omega$. El experimento simplemente consiste en ir dando valores a V_{in} mediante la fuente DC e ir midiendo la intensidad en el circuito. Los datos medidos se recogen en una tabla y se grafican. Hay que tener en cuenta que VISIR tiene limitada la máxima corriente que puede circular por los circuitos a 0,5 A para evitar daños en los equipos.

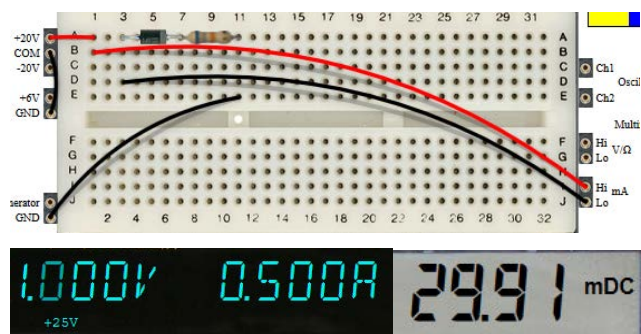


Fig. 20. Experimento de caracterización del diodo y medida de intensidad

Repetiendo las medidas se obtiene la curva característica de Fig. 21.

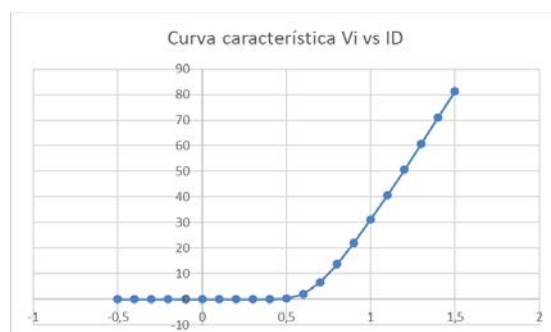


Fig. 21. Curva característica del diodo 1N4007

Como ya se ha dicho, también se podría caracterizar el diodo con una resistencia de $1\text{ k}\Omega$, e incluso sin resistencia. En este último caso, la tensión de entrada no puede superar 1 V para no superar los 0,5 A. Es decisión del profesor caracterizar de una u otra forma.

La Fig. 21 permite al alumno calcular gráficamente la resistencia interna del diodo, r_d .

Para obtener la curva de transferencia del diodo simplemente hay que usar el circuito anterior, pero midiendo la caída de tensión en la salida R (ver Fig. 22). Claramente aquellas universidades que disponen de dos multímetros pueden hacer este experimento junto con el otro, aunque este no es el caso de UDeusto.

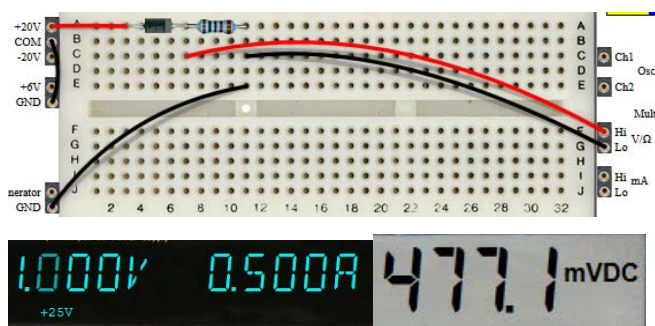


Fig. 22. Experimento de caracterización del diodo y medida de tensión

Granicando los resultados obtenidos uno a uno se obtiene la Fig. 23.

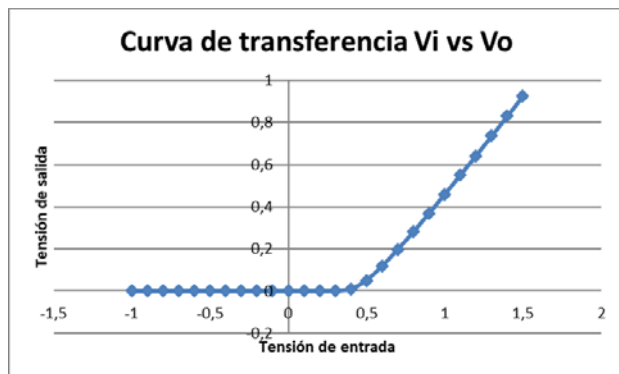


Fig. 23. Curva de transferencia del diodo 1N4007

Para obtener la caída de tensión en el diodo, simplemente habrá que mover las puntas del multímetro y repetir el proceso para obtener la Fig. 24.

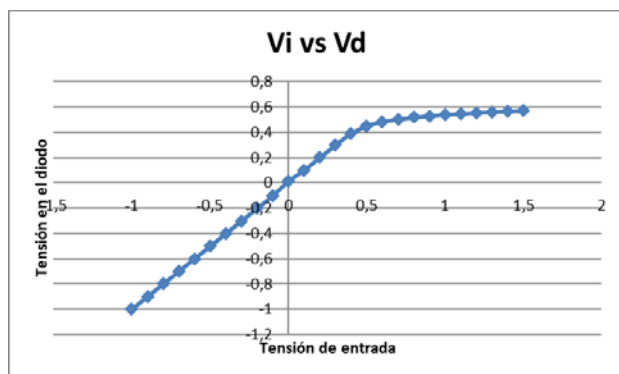


Fig. 24. Tensión en el diodo

Utilizando las gráficas anteriores, el profesor podrá explicar al alumno el concepto de tensión umbral en el diodo, que en este caso es $V_{TH}=0,7$ V, aproximadamente.

2) Rectificador de media onda

En este caso el alumno comprueba cuál es el efecto de añadir en serie un diodo a una resistencia excitada con una entrada sinusoidal.

En este circuito, la salida está rectificada, es decir, solo presenta valores positivos, ya que los negativos han sido “frenados” por el diodo. La Fig. 25 muestra a la perfección este comportamiento.

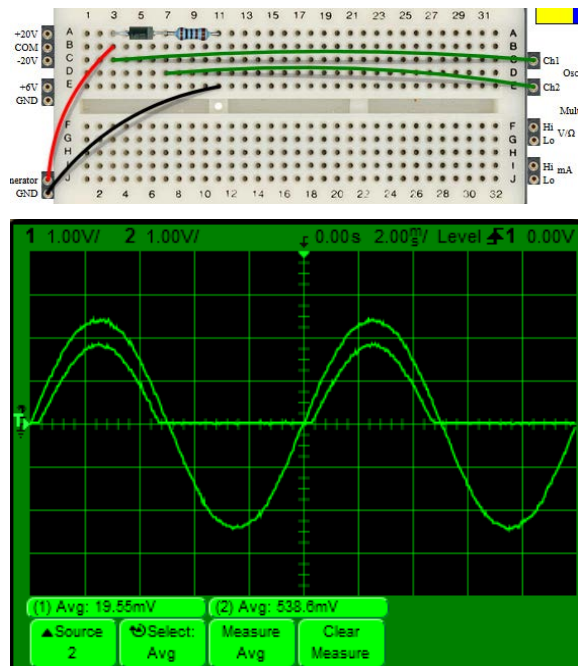


Fig. 25. Experimento y salida de un rectificador de media onda

Lo más característico de la gráfica anterior es que en las medidas se ve que el valor medio ya no es 0 V (o casi), como sí lo era en la entrada. Al rectificar la entrada, la salida tiene un valor medio no nulo.

Si además de ver el comportamiento en la salida, se desea ver el comportamiento en el diodo entonces habrá que activar de nuevo la opción math del osciloscopio de VISIR, tal y como muestra la Fig. 26.

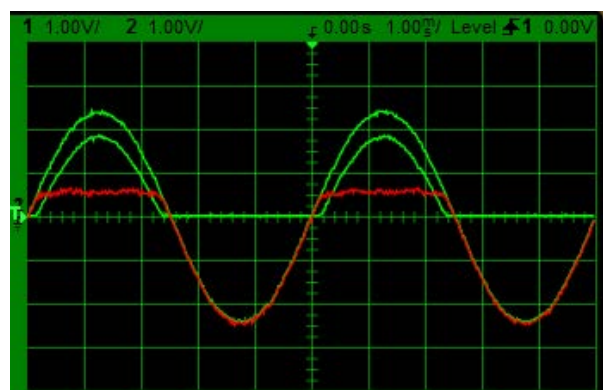


Fig. 26. Tensión en el diodo para un rectificador de media onda

El profesor podrá recalcar en la Fig. 26 los resultados obtenidos en la caracterización del diodo en las Figs. 21, 23 y 24.

3) Conversor AC-DC

Si al circuito rectificador de media onda anterior se le añade un condensador en paralelo con la carga, entonces este se convierte en un conversor AC-DC. En la Fig. 27 se muestra

el circuito AC-DC de media onda con un condensador de 1 μF .

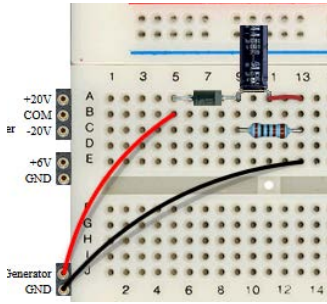


Fig. 27. Conversor AC-DC con rectificador de media onda y condensador

La salida se puede ver en la Fig. 28.

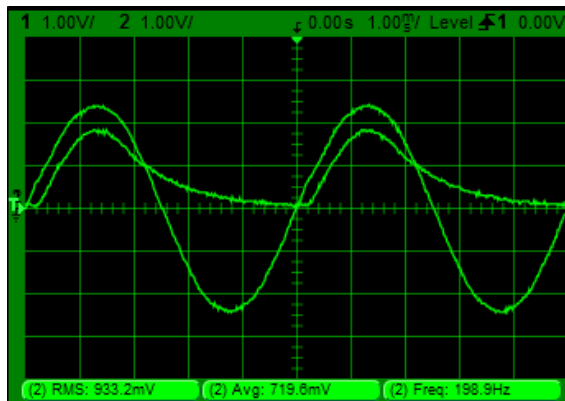


Fig. 28. Salida de un conversor AC-DC en el osciloscopio

En la Fig. 28 se ve que la salida ya no es ni una sinusoidal, ni una semisinusoidal. En este caso el valor medio ha subido respecto del rectificador de media onda, y ahora es de 0,72 V, mientras que el V_{rms} también ha subido y es de 0,933 V.

Cuando se diseña un conversor AC-DC no es solo importante el valor V_{cc} , también lo es el rizado, ya que este valor indica cuán “plana” o continua es la señal de salida. El rizado se obtiene como el cociente entre el valor eficaz de la componente de alterna de la salida entre V_{cc} . VISIR permite visualizar solo la componente de alterna de la salida, tal y como se puede ver en la Fig. 29.

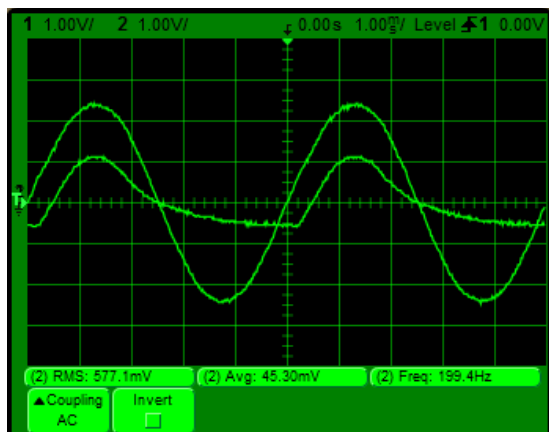


Fig. 29. Componente de alterna de la salida en el osciloscopio

Utilizando los valores medidos en las Figs. 28 y 29:

$$rizado = \frac{V'_{ef,o}}{V_{cc}} = \frac{0,577}{0,933} = 62\%$$

El valor ideal de rizado es del 0%, y este conversor AC-DC está muy lejos de ello. La curva de salida claramente no es “plana” o continua.

Si se sustituye el condensador de 1 μF por el de 10 μF se obtiene la salida de la Fig. 30.

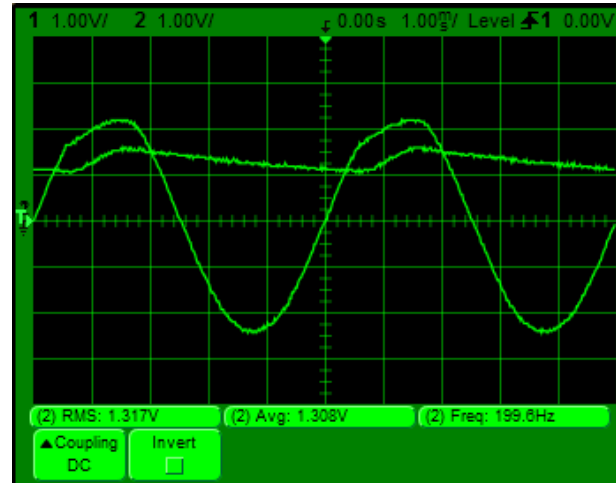


Fig. 30. Conversor AC-DC con condensador de 10 μF

En este caso el valor eficaz de la componente de alterna de la salida es 0,133 V y el valor eficaz de la salida es 1,317 V. Así el rizado queda

$$rizado = \frac{V'_{ef,o}}{V_{cc}} = \frac{0,133}{1,317} = 10\%$$

Este valor de rizado del 10% ya es más aceptable y de hecho la salida es más o menos continua.

En este momento el profesor puede experimentar con distintos valores de R y de C, así como con la frecuencia de la señal de entrada.

V. SEGUIMIENTO Y LEARNING ANALYTICS EN VISIR-DEUSTO

VISIR-Deusto es un experimento remoto que se ofrece desde el RLMS (Remote Lab Management System) WebLab-Deusto. Dicha plataforma tiene varias ventajas intrínsecas:

- Conexión directa a Moodle y otros LMS.
- Gestión de user/pass mediante LTI y otras técnicas.
- Federación de experimentos remotos.
- Seguimiento tracking de usuarios.

Las dos primeras descargan al profesor de mucho trabajo y facilitan el acceso de los alumnos al VISIR.

Además WebLab-Deusto registra toda la actividad del usuario: cuándo entró, cuánto tiempo estuvo conectado, qué circuitos montó, qué medidas hizo, etc. Esta característica tiene dos aplicaciones.

Por un lado permite al profesor ver el resumen de la actividad del alumno. La Fig. 31 muestra el resumen de la actividad de los alumnos de una asignatura de Ing. Informática en el segundo semestre del curso 2019-2020 (todavía en marcha).

Información básica

Propiedad	Estudiantes	Profesores	Total
Usuarios activos	19	1	20
Número de sesiones de laboratorio	416	27	443

Fig. 31. Resumen de actividad de los alumnos en VISIR

La Fig. 32 muestra la actividad de los cinco alumnos más activos (se ha borrado su nombre por privacidad).

Nombre de usuario	Número de usos
zubia	27
	34
	33
	31
	30
	28

Fig. 32. Número de accesos por alumno

Además, WebLab-Deusto permite ver el detalle de cada alumno. La Fig. 33 muestra la actividad del primer alumno de la anterior lista, en ella se ve el número por día del mes y también se ve el número de accesos por día de la semana y hora. Este alumno trabaja la asignatura los martes a distintas horas, incluida la noche.

feb.	mar.		
		17:00	3
		18:00	3
		19:00	2
		20:00	1
		21:00	2
		22:00	2
		23:00	1

Fig. 33. Accesos al VISIR por día y hora de un alumno

A. Learning Analytics y VISIR Dashboard

Los anteriores datos son un resumen de la actividad del alumno pero no alcanzan un alto grado de detalle.

Learning Analytics, LA, es un campo que partiendo de una recogida masiva de datos de la actividad del alumno tiene como objetivos entender cómo aprende el alumno y cómo ayudarle en el aprendizaje y también evaluarle.

El equipo liderado por Jordi Cuadros de la IQS (Universidad Ramón Llull) está diseñando un Dashboard junto con la UDeusto para permitir un análisis basado en LA en VISIR [2].

El VISIR Dashboard no solo muestra un resumen de la actividad, sino que también se adentra en los detalles de dicha actividad.

Por ejemplo la Fig. 35 relaciona el número de circuitos creados por un número de alumnos. Lo interesante en este caso es que el VISIR Dashboard es capaz de normalizar los

circuitos de los alumnos. En la Fig. 34 se ven dos circuitos distintos de los alumnos, pero que son vistos como uno solo.

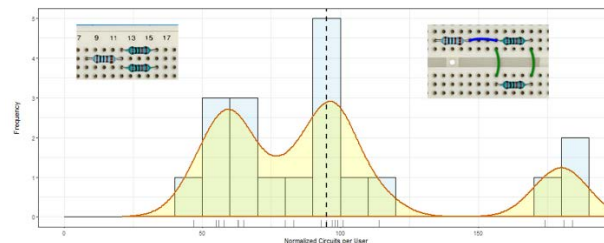


Fig. 34. Número de alumnos y número de circuitos en VISIR Dashboard

La Fig. 35 relaciona cuánto tiempo ha dedicado cada alumno (cada círculo) para obtener un determinado número de circuitos correctos. Así si un alumno está situado arriba a la derecha quiere decir que ha montado un número alto de circuitos que esa tarea le ha llevado un tiempo apreciable; un alumno abajo a la derecha indica que ha montado pocos circuitos en mucho tiempo, lo que no parece una buena noticia; y por último un alumno arriba a la izquierda indica que ha sido capaz de montar muchos circuitos en poco tiempo.

El análisis de la Fig. 35 y otras (por ejemplo, la que muestra los errores cometidos por los alumnos) permite al profesor analizar con detalle su asignatura y a sus alumnos.

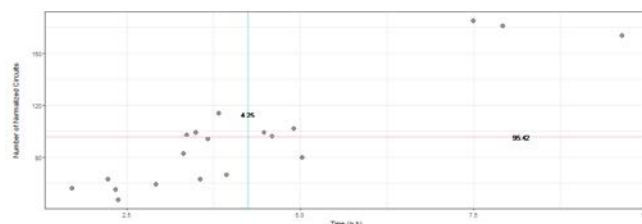


Fig. 35. Número de circuitos y tiempo dedicado por alumno

VISIR Dashboard ofrece más posibilidades al profesor y todavía está en desarrollo.

VI. EVALUACIÓN DE VISIR-DEUSTO

El experimento remoto VISIR cuenta con dos trabajos publicados [3,4] que llegan a la conclusión de que VISIR es una herramienta educativa que tiene efectos positivos en el aprendizaje del alumno. Es decir, usar VISIR no es solo una buena opción para un profesor, sino que también es un recurso pedagógico útil, contrastado y defendible en cualquier foro educativo universitario.

Además de medir el efecto que VISIR tiene en el aprendizaje del alumno, es importante medir la valoración subjetiva que el alumno tiene de la herramienta. UDeusto junto con IQS ha diseñado una encuesta de satisfacción del alumnado con VISIR que mide la utilidad, la usabilidad y la inmersión del alumno. El diseño partió de un análisis exhaustivo de otras encuestas para diseñar una primera encuesta de 16 preguntas. Este cuestionario fue pasado a más de 100 alumnos de distintos grados y universidades, y del análisis estadístico posterior se obtuvo el cuestionario actual que cuenta con 9 preguntas que se muestran a continuación. Cada ítem se asocia con una escala de Likert de 1 a 7.

Q1. El laboratorio remoto es fácil de usar	1-7
Q2. Usar el laboratorio remoto se parece a estar en un laboratorio real	1-7
Q3. Mis interacciones con el laboratorio remoto parecen reales	1-7
Q4. El laboratorio remoto me ayuda a aprender	1-7
Q5. Cuando uso el laboratorio remoto, me concentro en las tareas encomendadas	1-7
Q6. Puedo predecir el resultado que se obtiene al usar cada elemento de la interfaz del laboratorio remoto	1-7
Q7. El diseño del laboratorio remoto es suficientemente intuitivo de forma que no se requiere ayuda para usarlo	1-7
Q8. El laboratorio remoto cumple con mis requisitos	1-7
Q9. El laboratorio remoto me ayuda a aprobar	1-7

Los resultados obtenidos para la encuesta en el primer semestre del curso 2019-2020 ofrecen los siguientes resultados.

Pregunta	media	Desv. tip	Mediana
Q1	5,71	1,20	6
Q2	5,18	1,21	5
Q3	5,29	1,02	5
Q4	6,34	0,859	7
Q5	5,75	1,21	6
Q6	5,21	1,29	5
Q7	5,04	1,63	5
Q8	5,57	1,35	6
Q9	5,82	1,36	6

Los resultados muestran claramente que los alumnos aprecian y aceptan el uso de VISIR en el aula.

VII. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

VISIR es un experimento remoto que permite al profesor mejorar su docencia en el aula sin modificar o criticar su forma de dar clase. VISIR simplemente permite al alumno y al profesor llevar a cabo experimentos con libertad, tanto en el aula como fuera de ella.

VISIR es un experimento remoto muy activo en investigación en trabajos publicados, tesis doctorales, proyectos, etc., ya que presenta retos muy diversos. Por un lado existen retos tecnológicos para mejorar el rendimiento del sistema bajando su coste económico. Actualmente VISIR se basa en una solución PXI de National Instruments, y quizá existan actualmente tecnologías similares. También se puede mejorar la nueva interface HTML5 de VISIR, ya que no todas las funciones del osciloscopio están disponibles.

Los retos más claros aparecen al utilizar LA en VISIR. Por un lado si VISIR tuviera la capacidad de evaluar el trabajo del alumno, esto sería de gran ayuda para el profesor. Además, toda vez que el Dashboard “ve” lo que el alumno está

haciendo, entonces se podría diseñar un ITS (Intelligent Tutoring System) para recomendarle al alumno actividades o circuitos en función de los errores que cometa en VISIR.

Lo anterior conecta directamente con Adaptive Learning, y en este campo se podría diseñar una interface adaptativa, de manera que esta se modificará en función de los conocimientos, acciones o errores del alumno mientras usa VISIR.

Por último es importante profundizar en la federación VISIR tanto a nivel organizativo, integrando nuevos miembros en el consorcio VISIR, como a nivel técnico. En un escenario ideal con varios VISIR federados, el alumno al montar un circuito y solicitar a VISIR una medida, este recibiría una respuesta, aunque no sabría si esta viene de un VISIR en Deusto, en Oporto o en Brasil. Este enfoque haría al VISIR más sostenible y confiable.

Actualmente la empresa LabsLand (una start-up de UDeusto enfocada a la experimentación remota [5]) ofrece a las universidades y centros educativos interesados acceso a VISIR mediante un pequeño pago (pablo@labsland.com y <https://labsland.com/es/pricing>). LabsLand enfoca el desarrollo de la experimentación remota desde un enfoque de economía colaborativa, teniendo como pilar básico el servicio de calidad y profesional. Solo si un experimento remoto es confiable y sostenible será usado educativamente.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo cuenta con el apoyo del proyecto ACM2019-20 “Ampliación de las herramientas LA en VISIR”

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Gustavsson et al., (2009) "On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories," in IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 2, no. 4, pp. 263-274, Oct.-Dec. 2009. doi: 10.1109/TLT.2009.42.
- [2] J. García-Zubia, J. Cuadros, S. Romero, U. Hernandez-Jayo, P. Orduña, ML. Güenaga, L. Gonzalez-Sabate and I. Gustavsson, (2017) "Empirical Analysis of the Use of the VISIR Remote Lab in Teaching Analog Electronics," 2017, in Trans. On Education, Vol. 7, Issue 2, pp:149-156, doi: 10.1109/TE.2016.2608790.
- [3] M. Marques, M. Viegas, M. Costa-Lobo, A. Fidalgo, G. Alves, J. Rocha, (2014) "How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR," 2014, Trans on Education, Vol. 57, Issue 3, pp: 151-159, doi: 10.1109/TE.2013.2284156.
- [4] J. García-Zubia et al., (2019) "Dashboard for the VISIR remote lab" in 5th Experiment International Conference (exp.at'19), Funchal (Madeira Island), Portugal, 2019, pp. 42-46. doi: 10.1109/EXPAT.2019.8876527.
- [5] P. Orduña, L. Rodríguez-Gil, J. García-Zubia, I. Angulo, U. Hernandez and E. Azcuenaga, (2016) "LabsLand: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories main-tainability, sustainability and adoption," 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Erie, PA, USA, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/FIE.2016.7757579.

Instalación Fotovoltaica con Almacenamiento en Baterías de Litio para la Inclusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles en las Ingenierías

Orts-Grau, Salvador¹ (sorts@eln.upv.es); Gimeno-Sales, Francisco José¹ (fgimeno@eln.upv.es); Seguí-Chilet, Salvador¹ (sseguir@eln.upv.es); González-Altozano, Pablo² (pgaltozano@agf.upv.es); Balbastre Peralta, Ibán² (ibbalpe@agf.upv.es); Palau Estevan, Carmen Virginia² (virpaes@agf.upv.es); Gasque Albalade, María³ (mgasque@fis.upv.es); Escribá Aparisi, Alejandro¹ (alesap1@upvnet.upv.es)

¹ Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM)

² Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria (DIRA)

³ Departamento de Física Aplicada

Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, Spain

Abstract—Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobados por la ONU en 2015 encontramos objetivos vinculados con la formación ofrecida por las universidades en el área de la tecnología electrónica. El derecho a una energía asequible y no contaminante está directamente ligado al desarrollo de tecnologías renovables como la energía eólica y fotovoltaica, además del almacenamiento de la energía eléctrica en baterías de nueva generación. La instalación fotovoltaica con almacenamiento en baterías de litio descrita en la ponencia se configura como un proyecto práctico transversal que interacciona con la mayoría de las asignaturas del grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. La utilización de videos donde se explica la instalación o se plantean problemas relacionados con los equipos utilizados en la planta, demuestra a los alumnos cómo pueden ayudar a facilitar el acceso universal a la energía. En la ponencia se describe un caso práctico que afecta a la primera asignatura de electrónica que se imparte a los alumnos, para demostrar que a lo largo de todo el grado es posible integrar la formación aplicada en estas nuevas tecnologías.

Keywords— *formación transversal universitaria, objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), energías renovables, gestión de la energía fotovoltaica, bombeo fotovoltaico.*

I. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el cambio climático es cada día mayor y es necesario un cambio en el modelo energético actual para conseguir un mix energético sostenible y eficiente. Las tecnologías eólica y fotovoltaica están experimentando un gran auge a nivel mundial por el bajo coste de la energía que generan y son las tecnologías que van a liderar la lucha contra el cambio climático [1]. El almacenamiento de la energía va a presentar en los próximos años un gran auge dado que tanto la eólica como la fotovoltaica son fuentes intermitentes [2].

Las nuevas tendencias en los sistemas fotovoltaicos de conexión a la red incluyen el uso de sistemas de almacenamiento, como las baterías de ion de litio (Li-ion), para aumentar la cuota de la energía auto consumida en sectores domésticos e industriales [3] y para resolver algunos problemas relacionados con la integración con las redes eléctricas convencionales de los sistemas de generación distribuida basados en energías renovables (control de frecuencia, control de potencia activa, control de potencia reactiva, soporte de red dinámica, etcétera).

Existen diversas tecnologías de baterías Li-ion con algunas diferencias en sus prestaciones [4][5]. Los avances tecnológicos en el campo del almacenamiento de energía, principalmente en la industria del vehículo eléctrico, han facilitado la llegada al mercado de las baterías Li-ion con más

de 6800 ciclos de vida útil (más de 18 años con un proceso de carga y descarga por día). La tecnología de baterías Li-ion utilizada en los sistemas fotovoltaicos es la misma que la usada en coches eléctricos, coches híbridos o en sistemas para la gestión de la red de potencia [6][7].

Las baterías Li-ion presentan varias ventajas cuando se comparan con baterías de plomo similares [8]: casi 100% eficaz en el proceso de carga y descarga, vida útil más larga, capacidad constante (más independiente de la corriente de descarga), mayor densidad de energía, reducido mantenimiento, voltaje estable durante todo el ciclo de descarga, permite la conexión de hasta cientos de voltios y miles de Watts-hora, más seguro para el medio ambiente, etcétera. Las baterías Li-ion se están convirtiendo en una solución rentable, confiable, y de alto rendimiento en un amplio número de aplicaciones [7], incluyendo también la generación eléctrica en lugares aislados no conectados a las redes eléctricas convencionales. Hay iniciativas que plantean aprovechar las baterías reemplazadas en los vehículos eléctricos para ser usadas en instalaciones aisladas de generación de energía o microrredes. El uso de sistemas fotovoltaicos combinado con el almacenamiento de energía en baterías [9] puede contribuir significativamente a la sostenibilidad energética en lugares remotos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación in situ, eliminando la dependencia de combustibles fósiles y reduciendo el costo de la energía.

Las necesidades de agua para consumo humano en algunas regiones del África subsahariana se cubren en numerosos casos mediante grupos electrógenos auxiliares que precisan de un suministro continuo de combustible fósil, encontrándose problemas como: elevados precios de los combustibles, dificultad de suministro, costes de mantenimientos elevados, corta esperanza de vida, contaminación acústica y medioambiental. Existe la solución de bombear agua mediante sistemas fotovoltaicos, cuyos costes han decrecido a unos niveles en los que la solución fotovoltaica es más económica que la utilización de la red eléctrica. En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos son una tecnología confiable, segura y barata para el suministro de energía eléctrica en lugares remotos [6][7]. Esta solución resuelve los problemas indicados, aunque la cantidad de agua producida depende del recurso solar existente. La caída de precios de la fotovoltaica junto con la alta irradiación solar de estas regiones, entre otros factores, ha aumentado en los últimos años el interés y el uso de los sistemas de bombeo fotovoltaicos entre las organizaciones humanitarias WASH (Water, Sanitation and Hygiene).

Mientras que los sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua empiezan a ser utilizados en muchos países,

principalmente en aplicaciones de riego, la necesidad de mantener el bombeo de agua más allá del día solar es un problema común en zonas con altas densidades de población, como en los campos de refugiados. El ajuste de generación y demanda se ha resuelto de forma clásica mediante la construcción de depósitos con la altura adecuada para proporcionar la presión que se necesita para distribuir el agua. Los sistemas híbridos (fotovoltaica combinada con generadores diésel) permiten gestionar la producción de agua y reducen, aunque no anulan, las dificultades mencionadas relacionadas con el uso de combustibles fósiles. Otra solución consiste en usar baterías para almacenar los excedentes que produce el campo fotovoltaico y tener energía almacenada para que pueda funcionar el conjunto motor-bomba cuando el suministro de agua sea necesario, incluso de noche [7] [8].

Se esperan rápidas bajadas de precio para las baterías Li-ion debido a la alta demanda de estas baterías en aplicaciones emergentes y las economías de escala que puede alcanzarse [7][10]. Esta previsión de reducción de precios permite plantearse que los sistemas de bombeo de agua basados en sistemas fotovoltaicos y baterías Li-ion serán una solución económica para satisfacer la demanda de agua en campos de inmigrantes, refugiados y desplazados, así como en poblaciones remotas de países en desarrollo. El uso de las baterías en sistemas fotovoltaicos de bombeo asegura la disponibilidad de agua incluso durante la noche, períodos de luz baja y días nublados [11]. Otros beneficios adicionales pueden lograrse si los excedentes de energía almacenada en la batería Li-ion se utilizan para otros fines: carga de la batería de pequeños electrodomésticos, iluminación, etcétera. El desafío de combinar nuevas tecnologías energéticas abre nuevas oportunidades para la sostenibilidad a largo plazo de acciones humanitarias al mismo tiempo que se mejoran las condiciones existentes en campos de inmigrantes, refugiados y desplazados, así como en poblaciones remotas de países en desarrollo.

Como continuación de experiencias previas desarrolladas en la Universitat Politècnica de Valencia (UPV) con la tecnología fotovoltaica [12][13], se ha realizado el montaje de una instalación fotovoltaica que incluye almacenamiento en batería de litio y la posibilidad de realizar un bombeo fotovoltaico directo o híbrido. En la instalación participan profesores de los departamentos de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería Rural y Agroalimentaria de la UPV. La repercusión del trabajo afecta a diversas asignaturas del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, así como a diversas asignaturas del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural. La instalación se está poniendo en marcha mediante un programa de apoyo al I+D+i del Área de Cooperación al Desarrollo de la UPV (Programa ADSIDEO-Cooperación 2017) y del Vicerrectorado de Infraestructuras, además de contar con la colaboración de las empresas GoodWe [14] y Carlo Gavazzi [15]. El concepto de proyecto arranca a partir de una petición del International Global Solar Energy & Water Advisor en IOM (International Organization for Migration - www.iom.int/about-iom). El proyecto propuesto está alineado con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) marcados por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas [16]:

- Objetivo 6: agua limpia y saneamiento.
- Objetivo 7: energía asequible y no contaminante.
- Objetivo 11: ciudades y comunidades sostenibles.

De forma más secundaria también se alinea con el objetivo 3 (salud y bienestar) y 13 (acción por el clima). La inclusión de los ODS en la formación reglada se considera necesaria

para que las próximas generaciones de ingenieros estén más sensibilizadas con la sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático. Con la instalación desarrollada planteamos introducir los Objetivos de Desarrollo Sostenibles en las asignaturas de electrónica que son necesarias para que un sistema de este tipo pueda ser funcional: fundamentos de electrónica (semiconductores, células fotovoltaicas...), electrónica analógica (sensores, amplificadores...), instrumentación (equipos de medida, convertidores CAD y DAC), electrónica de potencia (convertidores de potencia, filtros pasivos,...), procesamiento de señal (adquisición de datos, comunicaciones industriales...), sistemas digitales avanzados (control SPWM y SVPWM, etc.). La instalación permitirá mostrar a los alumnos de los diversos cursos como la implementación de un sistema real precisa de la suma de los conocimientos impartidos en diversas asignaturas a lo largo de toda la titulación, mostrando como la electrónica interacciona con otras disciplinas y como puede ayudar a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenibles planteados por las Naciones Unidas para 2030, principalmente con el Objetivo 7 (energía asequible y no contaminante).

El artículo está organizado de la siguiente forma. La sección II detalla las principales características de la instalación fotovoltaica con almacenamiento en batería de litio, así como algunas de las experiencias que están previstas desarrollarse en ella. La sección III detalla la implicación de las diversas asignaturas impartidas por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPV en el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, y qué contenidos pueden reforzarse mediante este caso de estudio. La sección IV presenta los resultados obtenidos y los problemas encontrados. Finalmente se incluyen unas conclusiones finales sobre las principales aportaciones del trabajo presentado.

II. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La instalación fotovoltaica con almacenamiento en baterías de litio se localiza en el edificio 3P de la UPV, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN). La instalación cuenta con 8 módulos fotovoltaicos policristalinos de 305 W_{pk} que están situados en la terraza oeste del edificio, inclinados 30° y orientados al sur, en unas condiciones que optimizan la producción anual de la instalación. Los 8 módulos están conectados en serie y proporcionan en condiciones estándar de medida los valores mostrados en la Tabla I.

En la terraza se ha montado un cuadro eléctrico en el que se han dispuesto los siguientes componentes: protecciones DC (seccionador, fusibles y descargador de sobretensiones), sistema monitor Eos Array de Carlo Gavazzi, sistema de medida de velocidad y dirección del viento, y alimentación AC a 230 V y 50 Hz.

TABLA I. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CONDICIONES ESTÁNDAR DE MEDIDA (1000 W/m², T_{CELL}=25°C, AM=1.5)

Tensión en circuito abierto (V _{OC})	363.2 V
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{MPP})	293.6 V
Corriente de cortocircuito (ISC)	8.8 A
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{MPP})	8.3 A
Potencia en el punto de máxima potencia (P _{MPP})	2440 W



Fig. 1. Vista del campo fotovoltaico, se puede ver el cuadro eléctrico en la parte posterior del campo fotovoltaico.

El cuadro eléctrico de la terraza (parte posterior izquierda de la Fig. 1) y del laboratorio de la planta baja de la ETSIAMN (en el centro de la Fig. 2) están separados por una distancia de 140 metros. Los cables que recorren esta distancia son el positivo y negativo del campo fotovoltaico y el cable de comunicaciones RS485. Dentro del cuadro eléctrico se han dispuesto protecciones DC (seccionador, fusibles y descargador de sobretensiones) y diversos componentes de medida, protección y maniobra en AC: magnetotérmico, diferencial, contador de energía, seccionadores, etc.

En el laboratorio de la planta baja de la ETSIAMN se han montado el resto de equipos de esta planta experimental:

- Un inversor híbrido de conexión a red modelo GW3648D-ES del fabricante GoodWe, con una potencia aparente nominal de 3680 VA en las dos salidas AC (salida a red y salida de reserva) y hasta 5520 VA durante 10 segundos en la salida AC de reserva (back-up). (Parte superior izquierda de la Fig. 2).
- Una batería de litio del fabricante LG, modelo RESU3.3, con 3.3 kWh de energía total almacenada, 3.3 kW de potencia pico entregada durante 3 segundos y una tensión nominal de 51.8 V (parte inferior izquierda de la Fig.2).
- Cuadro de control para bombeo solar directo, modelo ESP-2,2/230-IP20-F200, suministrado por la empresa Atersa y que incluye un variador de velocidad de Fuji Electric, así como los circuitos de control y protección necesarios para implementar un bombeo fotovoltaico (parte superior derecha de la Fig.2). Este cuadro admite dos fuentes de energía diferentes: una entrada DC procedente de un campo fotovoltaico más una entrada AC monofásica de 230 V y 50 Hz procedente de una red eléctrica convencional o de un grupo auxiliar.



Fig. 2. Componentes de la instalación montados en el laboratorio.

El cuadro eléctrico del laboratorio permite configurar la instalación para trabajar en diversos modos:

- Sistema aislado de la red para bombeo solar directo: el campo fotovoltaico se conecta a la entrada DC del variador de velocidad. La batería y el inversor híbrido no se utilizan en esta configuración.
- Sistema aislado para bombeo solar con almacenamiento en batería de litio: el campo fotovoltaico se conecta a la entrada DC del inversor híbrido GW3648D-ES. El inversor se configura para trabajar en modo OFF-GRID (instalación aislada de la red) y la energía del campo fotovoltaico se usa para alimentar las cargas AC conectadas en la salida de reserva y recargar la batería. El inversor gestiona el punto de trabajo del campo fotovoltaico para balancear energía demandada y producida, pudiendo darse el caso de que el campo fotovoltaico no genere energía si no hay consumos y la batería está cargada.
- Sistema de conexión a red para autoconsumo con almacenamiento en batería de litio. El sistema es muy similar al anterior, pero se conecta la salida AC-GRID a la red eléctrica y, por tanto, el campo fotovoltaico siempre trabajará en el punto de máxima potencia (MPP). Los excedentes de energía no utilizados por las cargas ni por la batería serán inyectados a la red eléctrica. En este caso el variador de velocidad que controla la bomba sumergible está conectado en la salida de reserva del inversor híbrido GW3648D-ES, como otras cargas críticas que pudieran existir en la instalación.

La Fig. 3 muestra el conexionado de los diversos componentes. La selección de una u otra configuración se realiza mediante el programa monitor del propio inversor y mediante elementos eléctricos de maniobra (fusibles seccionadores e interruptores manuales).

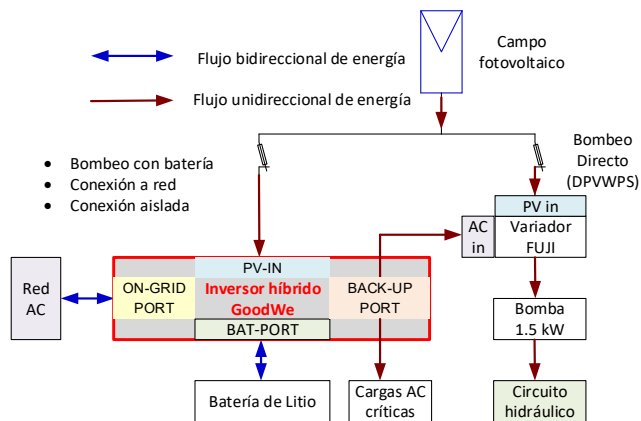


Fig. 3. Diagrama de bloques general de la instalación.

La monitorización del sistema incluye la medida de las siguientes variables:

- Temperatura de célula (modelo TEMPSOL1000) y del ambiente (modelo IKE20001K) mediante una resistencia del tipo Pt1000 conectadas a una unidad VMU-P del Eos Array de Carlo Gavazzi.
- Irradiancia sobre el plano del campo fotovoltaico, medido con un sensor CELLSOL 200 conectada al VMU-P.
- Anemómetro y veleta integrados en el modelo 7911 de la empresa Davis, con salida del tipo 4-20 mA que se conectará a un ADAM 4017+ para que los datos puedan transmitirse por la RS-485.
- Medida de tensión y corriente del campo fotovoltaico con una unidad VMU-S del Eos Array.
- Medida de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes EM21072. El medidor utiliza un transformador de corriente de efecto Hall modelo CTD1X605A y se conecta a un sistema AC monofásico.
- Sensores de presión y caudal de diversos modelos, con salidas 4-20 mA y que se conectan a la RS-485 mediante un ADAM 4017+.

El bus RS-485 facilita la comunicación de los datos adquiridos en todos los dispositivos conectados, tal como se muestra en la Fig. 4, disponiéndose al final del bus el UWP3 de Carlo Gavazzi que actúa como pasarela de comunicaciones entre los diversos equipos de medida y el sistema de adquisición de datos (Modbus-RTU sobre RS485 a Modbus TCP). Aunque el UWP3 puede usarse como servidor web, incluyendo un interfaz de usuario, se ha optado por conectar su salida de Ethernet a un sistema embebido (Raspberry Pi), que se conecta a la red de la UPV mediante una conexión WIFI. La Raspberry actúa como cliente sobre el protocolo Modbus TCP del UWP3 y envía los datos a un servidor con una frecuencia de muestreo que puede ajustarse dependiendo del tipo de experimento a realizar, con posibilidad de elegir tiempos de muestreo a partir de los 5 segundos.

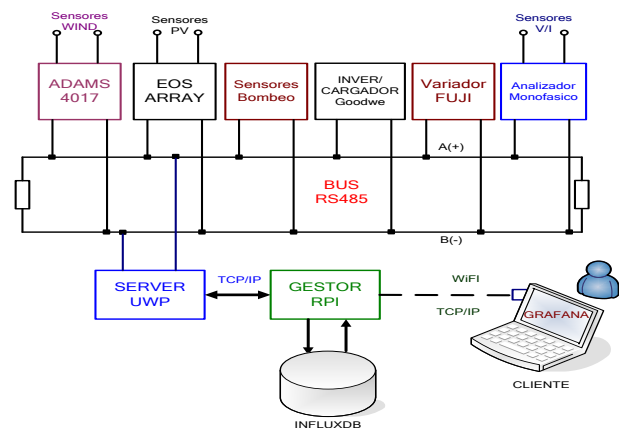


Fig. 4. Diagrama de bloques general de la instalación.

Los datos almacenados en el ordenador central pueden ser visualizados desde cualquier navegador de internet si la IP es conocida, disponiendo de una interfaz gráfica de usuario (GUI o Graphic User Interface) desarrollado en Grafana. Este sistema, frente al incluido en el UWP3, permite hacer adquisiciones con tiempos de muestreo en la escala de segundos (según la cantidad de dispositivos conectados en el bus RS-485), lo que es de suma importancia cuando se realizan trabajos de I+D+i en los diversos campos asociados a esta instalación: eficiencia de la instalación fotovoltaica, estudios del almacenamiento en baterías de litio, ensayos de bombas, comparativas entre diversas técnicas de bombeo, gestión de picos de demanda, etc.

III. FORMACIÓN TRANSVERSAL EN LOS ODS MEDIANTE CASO DE ESTUDIO EN EL GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

La instalación descrita en la anterior sección aglutina diversas iniciativas surgidas en la UPV alrededor de las energías renovables, la formación universitaria y la cooperación al desarrollo. Por un lado, desde el Centro de Cooperación al Desarrollo se financia en 2017 el proyecto "Caracterización de sistemas sostenibles para el bombeo de agua para consumo humano en regiones en desarrollo y/o campos de refugiados en Kenia mediante la implantación de sistemas fotovoltaicos aislados con baterías de ion litio de nueva generación". El proyecto planteaba la implementación de un prototipo a pequeña escala que permitiera avanzar en el conocimiento de este tipo de sistemas, tratando de cubrir una necesidad expuesta por el responsable de IOM en Kenia que desea reemplazar el uso de combustibles fósiles en el abastecimiento de agua por modernos sistemas de generación y almacenamiento. Por otro lado, encontramos el interés de profesores de la UPV en la introducción de más contenidos en la formación reglada alrededor de la tecnología fotovoltaica y reforzar la idea de que la electrónica es una pieza angular para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles. La lucha contra el cambio climático, el acceso a la energía y la mejora de la calidad de vida deben estar presentes en los estudios de los futuros ingenieros, ya que serán ellos los que desarrollarán e implementarán las soluciones que permitan alcanzar la sostenibilidad del planeta.

Además de la inclusión de contenidos en los diversos grados y masters relacionados con la ingeniería agronómica, los profesores pertenecientes al grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (GIEIA) ven la oportunidad de usar la instalación para crear un caso de

estudio transversal a lo largo de toda la titulación. Dentro de los estudios del GIEIA se encuentran las siguientes asignaturas obligatorias [17]:

- Tecnología Electrónica (9 ECTS - 3^{er} semestre).
- Electrónica Digital (7.5 ECTS - 4^o sem).
- Electrónica Analógica (7.5 ECTS - 4^o sem).
- Electrónica de Potencia (7.5 ECTS - 5^o sem).
- Instrumentación Electrónica (6 ECTS - 6^o sem).

Las asignaturas incluidas en la intensificación de electrónica son:

- Sensores e Instrumentación Virtual (6 ECTS - 7^o sem).
- Sistemas Digitales Aplicados (6 ECTS - 7^o sem).
- Sistemas Electrónicos Industriales (6 ECTS - 6^o sem).

Con el caso de estudio de la instalación fotovoltaica con almacenamiento es posible reforzar los contenidos habituales impartidos en todas las asignaturas anteriores. Como ejemplo, en la primera asignatura relacionada con la electrónica (Tecnología Electrónica) se pueden reforzar los contenidos de las cuatro unidades didácticas en que se divide la asignatura: diodos, transistores, amplificador operacional y electrónica digital. Algunos ejemplos de los contenidos reforzados son:

- La célula fotovoltaica, como elemento de generación de energía, es una aplicación directa de la unión semiconductor y las curvas I-V del diodo.
- Los transistores en conmutación combinados con relés electromecánicos son necesarios para la protección del inversor o la batería de litio frente a valores excesivos en alguna de las variables de operación (corriente o potencia excesiva, sobretemperatura, etc.).
- Los comparadores basados en amplificadores operacionales son parte del sistema de verificación de la calidad de la red AC donde se conecta el inversor híbrido o permiten verificar el rango de tensión de trabajo apropiado de la batería de litio.
- Los circuitos digitales básicos están presentes en la actuación sobre los diodos leds que se utilizan para notificar al usuario el estado de funcionamiento del inversor híbrido o en el circuito combinacional para gestionar los diversos sensores de nivel que podemos usar en un tanque de almacenamiento de agua.

La metodología para la inclusión del caso de estudio en las diversas asignaturas y unidades didácticas es variada, incluyendo:

- Video explicativo de la instalación: en el video se facilitan las principales características eléctricas del sistema, mostrando el diagrama de bloques general mostrado en la Fig. 1 e incluyendo imágenes y datos de catálogo de cada uno de los componentes principales del sistema. Como muestras, se puede ver la introducción a la instalación en [18], mientras que en [19] se muestran las diversas aplicaciones que permite el sistema implementado.

- Videos explicativos de problemas a resolver por los alumnos: estos videos, grabados en los estudios de la UPV, se incrustan dentro de la herramienta Lessons de la plataforma formativa PoliformaT. Los problemas están relacionados con los contenidos impartidos habitualmente en la asignatura y se plantean como una forma de acercar a la realidad los conceptos impartidos.
- Ejercicios prácticos de aplicación o proyectos dirigidos: los ejercicios se plantean a partir de los requerimientos de determinados subsistemas del caso de estudio. La descripción del problema puede realizarse mediante el típico enunciado (en un fichero) o apoyarse en un video explicativo.

El material multimedia desarrollado alrededor de la instalación fotovoltaica está enfocado para que el alumno pueda trabajar bajo metodología de clase inversa (flip-teaching), dedicándose en las clases a la resolución de los casos prácticos planteados. Un ejemplo de problema a resolver por los alumnos y que interacciona con dos asignaturas de distintos semestres lo encontramos en el circuito de alimentación de la interfaz para programar y monitorizar el variador de velocidad de Fuji Electric utilizado para controlar el conjunto motor-bomba del bombeo fotovoltaico (parte superior de la Fig. 5).

La alimentación necesaria para dicho circuito es de 24 V de continua (Fig. 6), con una posible variación del $\pm 10\%$ y un consumo de potencia que varía entre 20 W y 40 W según el modelo de pantalla táctil utilizado en la interfaz [20].

Para el variador de velocidad disponemos de dos posibles fuentes de energía:

- Una entrada para red AC, procedente de una red eléctrica convencional o de un grupo auxiliar accionado por combustible fósil.
- Una entrada DC procedente del campo fotovoltaico.



Fig. 5. Imagen de la parte trasera de la interfaz que monitoriza y configura el variador de velocidad donde se observa la propia interfaz (parte inferior) y la fuente de alimentación (parte superior).



Fig. 6. Datos técnicos del circuito de alimentación de la interfaz que monitoriza y configura el variador de velocidad.

TABLA II. DATOS TÉCNICOS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD USADO PARA EL ACCIONAMIENTO DEL MOTOR-BOMBA

Generic specifications		
	400 V Motor	200 V Motor
Maximum input voltage (Voc)	800 VDC	360 VDC
Minimum input voltage	400 VDC	180 VDC
Recommended voltage DC (VMPP)	550 - 620 VDC	280 - 330 VDC
Nominal input voltage AC	3ph 380 - 480 V, 50/60 Hz	3ph 200 - 240 V, 50/60 Hz
Nominal output voltage AC	3ph 400 V	3ph 200 V
Output frequency	0 - 400 Hz	
Efficiency (inverter)	97 - 98%	
Ambient temperature range	-10 to 50° C	
Cooling	Natural / by means of internal fan	
Recommended input power	1.2 times the pump capacity (minimum)	
Warranty	3 years	
EMC filter*1 / Motor output	Built-in / optional (from distances over 50 m)	

La interfaz es la misma para todos los modelos del variador, cuyas principales características se muestran en la Tabla II.

A partir de los datos anteriores se establece que el rango de tensiones DC que permiten el correcto funcionamiento del variador puede variar entre los 180 V y los 800 V. A partir de dichas especificaciones se observa que el sistema de alimentación disponible tiene finalmente un rango de tensión de entrada entre 100 V y 1000V. También se puede observar en la Fig. 7 que la etapa de alimentación no tiene polaridad, por lo que puede conectarse tanto en DC como en AC sin necesidad de identificar los terminales positivo y negativo (caso DC) o las fases y el neutro (caso AC).

A partir de los datos anteriores se plantean los siguientes ejercicios:

- Asignatura Tecnología Electrónica - unidad diodos: Determinar y diseñar el circuito que permite disponer de una alimentación que pueda conectarse tanto en una fuente de energía eléctrica DC o AC (monofásica) sin necesidad de tomar en consideración los terminales a los que se conecta. Definir el rango de tensión más adecuado para el correcto funcionamiento del sistema de entre una lista de posibles opciones (pregunta de múltiple selección con respuesta única)
- Asignatura Electrónica de Potencia - unidad convertidores DC/DC: Determinar la topología adecuada y las principales características del convertidor DC/DC necesario para obtener la tensión de alimentación de la interfaz ($24 V_{DC} \pm 10\%$ y un consumo entre 22 W y 40 W).

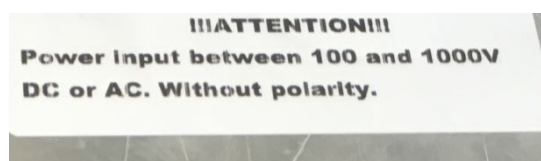


Fig. 7. Datos técnicos del circuito de alimentación de la interfaz que monitoriza y configura el variador de velocidad.

Como ejemplo, el planteamiento del ejercicio de la asignatura Tecnología Electrónica está desarrollado en [21] mientras que la solución se explica en [22]. La interacción de este caso de estudio con las asignaturas del grado GIEIA son elevadas, incluyendo diversas áreas:

- Electrónica analógica: adaptación de señales analógicas, amplificadores, etc.
- Electrónica Digital: procesamiento de señal, circuitos para señalización de estados del inversor mediante leds parpadeando a distintas secuencias, contadores para iniciar rutinas de puesta en marcha, activación del algoritmo de seguimiento del MPP, etc.
- Instrumentación Electrónica y Sensores e Instrumentación Virtual: sensores de magnitudes eléctricas, sensores de parámetros físicos (temperatura, irradiancia, viento, etc.), equipos de medida, convertidores CAD y DAC, etc.
- Electrónica de potencia: inversores, rectificadores, filtros pasivos, control PWM, etc.
- Sistemas Digitales Aplicados: Programación de micro-controladores y DSPs, comunicaciones industriales, programación de algoritmos de control (seguimiento del MPP).
- Sistemas Electrónicos Industriales: Control de convertidores electrónicos de potencia (FACs, Inversores), control SPWM y SVPWM, etc.

La inclusión del caso de estudio a lo largo de todo el grado ayuda a interrelacionar contenidos y permite mostrar a los estudiantes que para abordar el desarrollo e implantación de estos sistemas son necesarios los conocimientos impartidos en las diversas asignaturas que conforman el grado GIEIA. La utilidad de esta formación transversal también se extiende a otros grados y master, siendo utilizada en el Grado en Ingeniería Eléctrica (en las asignaturas Electrónica de Potencia, Sistemas Electrónicos para Energías Renovables y Sistemas Electrónicos para la Eficiencia Energética), así como en el Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica y en el Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos. Como ejemplo de aplicación, todo el desarrollo incluido en la Raspberry para el sistema de comunicación y pasarela RS485 a TCP/IP se aprovecha en las prácticas de las asignaturas Sistemas Digitales Aplicados (optativa en el grado GIEIA) y Diseño Electrónico Avanzado (Master Mecatrónica), donde los alumnos, a lo largo del semestre, van desarrollando diversos bloques funcionales que al combinarlos permiten la implementación de un sistema de monitorización a pequeña escala, similar al desarrollado en esta instalación.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

La puesta en marcha de la instalación (inicio del vertido a la red) se ha realizado a finales de febrero de 2020. En el momento de escribir el artículo se están completando los ajustes de la monitorización. Aunque la comunicación entre dispositivos del bus RS-485 de forma individualizada había sido probada en el laboratorio, en el montaje final se han incluido unos cuadros eléctricos en la terraza y el laboratorio. Ambos cuadros, desarrollados para trabajar a la intemperie, han sido cableados por una empresa especializada en la construcción de cuadros para sistemas fotovoltaicos, habiendo sido necesarios algunos ajustes en el cableado para el correcto

funcionamiento del sistema. Los primeros datos adquiridos se muestran en la Fig. 8.

Una vez concluida la puesta en marcha de la monitorización de la instalación, se van a realizar diversos ensayos para verificar las ventajas y desventajas de los diversos sistemas que pueden implementarse: bombeo fotovoltaico directo (solo energía fotovoltaica), bombeo fotovoltaico híbrido (energía fotovoltaica y grupo AC auxiliar o red eléctrica), bombeo fotovoltaico con batería de litio (bombeo directo o bombeo híbrido), sistemas de conexión a red con autoconsumo (con y sin batería, con y sin inyección a red, modo de funcionamiento off-grid). Los resultados del proyecto permitirán incluir en las asignaturas datos reales relacionados con los componentes usados en la instalación: cálculo de eficiencias de los diversos convertidores, eficiencia de la batería en ciclos de carga/descarga, etc. La explicación de las diversas partes del proyecto mediante videos específicos puede servir para la introducción de prácticas en diversas asignaturas:

- Circuitos digitales para adaptar señales de sensores todo-nada como los sensores de nivel de los depósitos de agua.
- Prácticas de Instrumentación Electrónica y Sensores e Instrumentación Virtual relacionadas con la medición de temperatura, irradiancia, presión, flujo, etc.
- Descripción de conversores de señales 4-20 mA a RS485 en Sistemas Digitales Aplicados.

La introducción de todos estos contenidos será acometida a partir de septiembre 2020 dado que la puesta en marcha de la instalación se ha iniciado en febrero de 2020 y debido al COVID-19 no se ha podido completar la puesta en marcha del circuito hidráulico. Así mismo, se demostrará a los alumnos que las capacidades adquiridas durante el grado GIEIA pueden ser aplicadas en el sector del desarrollo humanitario de grupos desprotegidos, facilitando el acceso a una solución altamente sostenible y duradera en el tiempo, libre de mantenimiento y de combustibles fósiles, para garantizar el suministro de agua en todo momento mediante la utilización de módulos fotovoltaicos y baterías de nueva tecnología Li-ion.



Fig. 8. Pantalla donde se muestran algunas de las variables adquiridas.

Reducir la necesidad de utilizar combustibles fósiles para cubrir las necesidades básicas de agua en campos de refugiados, desplazados y/o en comunidades rurales facilitará el empoderamiento de esos grupos sociales desfavorecidos, impulsando un cambio beneficioso en la vida cotidiana de estas personas. Simultáneamente, la utilización de una fuente de energía renovable como es el sol, de gran calidad en dichas ubicaciones (muchas horas de sol con buenos niveles de irradiación), debe aumentar la confianza de la población en las nuevas y sostenibles fuentes de energía, que pueden facilitar una transición al desarrollo que muchas veces se ha visto frenado por el alto coste de los combustibles fósiles que se precisan para el suministro energético. El suministro continuo de agua mediante sistemas fotovoltaicos con baterías de litio incrementa las medidas orientadas a mejorar sus condiciones de vida, en cuanto a la salud, la seguridad y el bienestar de estos núcleos de población.

V. CONCLUSIONES

Como conclusión final, se puede afirmar que mediante esta instalación fotovoltaica con batería de litio se puede confeccionar una formación transversal en el área de la electrónica que, además de favorecer el aprendizaje con nuevas metodologías y mostrar al alumno la necesidad de una formación completa en diversos aspectos de la electrónica, permite demostrar como la electrónica es una pieza importantísima para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles marcados por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

AGRADECIMIENTOS

Al programa ADSIDEO 2017 por la selección del proyecto “Caracterización de sistemas sostenibles para el bombeo de agua para consumo humano en regiones en desarrollo y/o campos de refugiados en Kenia mediante la implantación de sistemas fotovoltaicos aislados con baterías de ion litio de nueva generación” y la asignación económica recibida.

Al Vicerrectorado de Infraestructuras por el apoyo económico que ha permitido completar la instalación eléctrica del proyecto.

A las empresas GoodWe (inversor híbrido), Carlos Gavazzi (sistema monitor y de adquisición de datos) y Fuji Electric (interfaz de configuración y monitorización del variador de velocidad) por su implicación en el proyecto.

A Alberto Ibáñez Llario, Global Solar Energy & Water Advisor en IOM (International Organization for Migration [United Nations Agency for Migration]) por introducirnos en el campo de la ayuda humanitaria.

REFERENCIAS

- [1] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, and R. Gorini, “The role of renewable energy in the global energy transformation,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 24, pp. 38–50, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006.
- [2] S. Greenpeace, GWEC, “Energy [R] Evolution: A sustainable world energy outlook 2015,” 2015.
- [3] M. Naumann, R. C. Karl, C. N. Truong, A. Jossen, and H. C. Hesse, “Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application,” in *Energy Procedia*, 2015, vol. 73, pp. 37–47, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.555.
- [4] SAFT, “Lithium-ion battery life,” 2014.
- [5] J. Timpert, “Application note battery energy storage systems:

- efficiency and lifetime,” 2017.
- [6] IEA PVPS, “Trends 2016 in Photovoltaic Applications: Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015,” 2016.
- [7] The World Bank and Deloitte, “Solar Irrigation with Electric Vehicle,” 2014.
- [8] S. Anuphappharadorn, S. Sukchai, C. Sirisamphanwong, and N. Ketjoy, “Comparison the economic analysis of the battery between lithium-ion and lead-acid in PV stand-alone application,” in *Energy Procedia*, 2014, vol. 56, no. C, pp. 352–358, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.167.
- [9] S. S. Chandel, M. Nagaraju Naik, and R. Chandel, “Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 1084–1099, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.083.
- [10] D. L. Wood, J. Li, and C. Daniel, “Prospects for reducing the processing cost of lithium ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 275, pp. 234–242, 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.11.019.
- [11] V. C. Sontake and V. R. Kalamkar, “Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 1038–1067, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.021.
- [12] F. Ibáñez, S. Seguí, C. Sánchez, F. Gimeno, and M. Alcañiz, “EraSolar105_Central_Fotovoltaica_con_conexion_red_COLOR,” *Era Solar*, pp. 5–17, 2001.
- [13] S. Seguí-Chilet, P. Montesinos-Sanchis, S. Orts-Grau, and F. J. Gimeno-Sales, “Two years of experience in virtual mobility in renewable energies,” in *GLOBAL*, 2014, pp. 438–448.
- [14] GoodWe, “GoodWe (PV inverters).” [Online]. Disponible en <https://es.goodwe.com/>. [Consultado: 17-abril-2020].
- [15] Carlo Gavazzi Automation, “The evolution of Photovoltaic monitoring,” 2015. [Online]. Disponible en http://www.gavazzi-automation.com/docs/download_area/EOS.pdf. [Consultado: 17-abril-2020].
- [16] UN DESA, “United Nations Department of Economic and Social Affairs,” 2015. [Online]. Disponible en <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>. [Consultado: 28-febrero-2020].
- [17] “Asignaturas del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.” [Online]. Disponible en https://www.upv.es/titulaciones/GIEIA/menu_1014456c.html. [Consultado: 28-febrero-2020].
- [18] S. Seguí-Chilet, “Presentación de la instalación de bombeo fotovoltaico con batería de litio del DIRA,” 2020. [Online]. Disponible en <https://media.upv.es/player/?id=39925820-6443-11ea-b7d9-832cbebadcfb>. [Consultado: 10-abril-2020].
- [19] S. Seguí-Chilet, “Aplicaciones de la instalación de bombeo fotovoltaico con batería de litio del DIRA,” 2020. [Online]. Disponible en <https://media.upv.es/player/?id=e608c6b0-6444-11ea-b7d9-832cbebadcfb>. [Consultado: 10-abril-2020].
- [20] Fuji Electric, “Programmable Operator Interface Minitouch V9 series,” 2020.
- [21] S. Seguí-Chilet, “Diodos P01 circuito para interfaz del sistema monitor del bombeo fotovoltaico-planteamiento,” 2020. [Online]. Disponible en <https://media.upv.es/player/?id=7e6e12a0-6447-11ea-b7d9-832cbebadcfb>. [Consultado: 10-abril-2020].
- [22] S. Seguí-Chilet, “Diodos P01 circuito para interfaz del sistema monitor del bombeo fotovoltaico-solución,” 2020. [Online]. Disponible en <https://media.upv.es/player/?id=480ce910-6448-11ea-b7d9-832cbebadcfb>. [Consultado: 10-abril-2020].

Predicción Temprana del Fracaso en una Asignatura de Electrónica con Técnicas de Aprendizaje Automático

Raúl Alcaraz
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Raul.Alcaraz@uclm.es

Arturo Martínez-Rodrigo
Facultad de Comunicación
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Arturo.Martinez@uclm.es

Roberto Zangróniz
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Roberto.Zangroniz@uclm.es

José J. Rieta
Escuela Politécnica Superior de Gandía
Universitat Politècnica de Valencia
Gandía (Valencia), Spain
jjrieta@upv.es

Resumen—La minería de datos en educación se ha convertido en una disciplina muy útil para la recogida de datos y evaluación del rendimiento académico de los estudiantes. Una de las aplicaciones directas, consiste en detectar aquellos estudiantes con bajo rendimiento que podrían suspender en una determinada materia, para llevar a cabo actuaciones de refuerzo docente que reduzcan este efecto. Estos sistemas de aviso temprano se han aplicado tanto a cursos online, como en la modalidad de clases presenciales. Sin embargo, para que estos sistemas sean eficientes, requieren una evaluación del rendimiento del alumno lo más temprana posible, cosa que no siempre puede conseguirse con sistemas de predicción generalistas. Por esta razón, estudios recientes han comprobado la mejora en el rendimiento de clasificación cuando se utilizan sistemas adaptados a cada asignatura concreta. Así, en este estudio, se han elaborado dos modelos predictivos para identificar a los estudiantes con bajo rendimiento que podrían suspender la asignatura de Sistemas Electrónicos de Potencia. Los resultados mostraron unas precisiones globales en la clasificación alrededor del 75 % para los dos modelos, utilizando las calificaciones obtenidas por los alumnos durante las cuatro primeras semanas de clase. Sin embargo, algunas de las características evaluadas mostraron diferencias significativas a partir de la segunda semana de clase. Este hecho abre la puerta a futuros estudios en los que se analice el momento temporal óptimo para la evaluación de los estudiantes, de tal forma que exista un balance entre la precisión de la clasificación obtenida y el margen de actuación para prevenir una bajo rendimiento académico.

Index Terms—Sistemas de aviso temprano, estudiantes en riesgo, rendimiento de las predicciones, minería de datos en educación, sistemas electrónicos de potencia.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, gracias a los constantes avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), es posible la monitorización continua del rendimiento de los

alumnos en su entorno de aprendizaje. En este sentido, existen herramientas TIC que permiten un seguimiento cercano del progreso del alumnado, así como la recopilación efectiva de los resultados de aprendizaje [1]. Este hecho está fomentando la recolección masiva de datos, que permite generar conocimiento sobre cómo aprenden los estudiantes, con el objetivo de mejorar el sistema educativo [2]. De hecho, un campo emergente en los últimos años consiste en la minería de datos en educación (MDE), que aplica diferentes técnicas usadas en la minería de datos tradicional, al campo de la educación [1]. De forma más concreta, *The International Educational Data Mining Society* define a la MDE como una disciplina emergente, preocupada por desarrollar métodos que exploren los tipos de datos provenientes de entornos educativos, con el objetivo de comprender mejor a los estudiantes y su entorno de aprendizaje [3].

La recolección de los datos por medio de la MDE puede utilizarse en diferentes áreas de aplicación. No obstante, uno de los campos más importantes consiste en la predicción del rendimiento académico de los estudiantes [4]. Esta predicción puede darse a diferentes niveles de detalle, intentando predecir las calificaciones de los estudiantes en una determinada tarea, en una asignatura o simplemente estimar si un alumno suspenderá o aprobará el curso al final del año [5]. Cualquiera que sea el caso, resulta deseable la predicción temprana del resultado académico para permitir una enseñanza proactiva y enfocada al estudiante, de tal manera que se maximice la tasa de éxito [6]. En esta línea, algunos estudios recientes han demostrado que algunas herramientas, tales como los sistemas de tutorización inteligente, los sistemas de alarma temprana (SAT) y los sistemas de recomendación, pueden ser realmente útiles en la enseñanza universitaria [7].

Las herramientas SAT ya han sido testeadas con éxito en aprendizaje en formato online, donde los ratios de abandono

Este trabajo se ha financiado a través del Plan Estratégico 2017–2020 de la Escuela Politécnica de Cuenca (programa CD–AFP20), así como con fondos propios de la Facultad de Comunicación, Universidad de Castilla-La Mancha

son notables [8]. Una de las principales razones de este éxito radica en que las enseñanzas online requieren que el alumnado se conecte y cumpla diariamente las tareas en las plataformas de e-learning. Por lo tanto, resulta fácil la monitorización continua de esos alumnos, así como la identificación precisa del alumnado que se encuentra en riesgo de abandono [9] y la elaboración de sistemas de intervención para su retención [10]. Sin embargo, estos sistemas no son extrapolables cuando se trata de sistemas de enseñanza presencial, ya que la mayoría de las actividades se llevan a cabo fuera de una plataforma de e-learning [11]. Esto ha originado que en los últimos años, se hayan puesto muchos esfuerzos en la creación de diseños efectivos de SAT enfocados a funcionar en enseñanza tradicional y en asignaturas con altos ratios de suspensos, como pueden ser las que se imparten en estudios pertenecientes a la programación, la física, las matemáticas o la ingeniería.

En lo concerniente al área de ingeniería, los cursos que tratan sobre electrónica de potencia pueden llegar a ser muy desalentadores para los alumnos, ya que a menudo se requiere mucho esfuerzo para conseguir comprender los fenómenos físicos complejos que suceden en las operaciones de muchos circuitos [12]. Efectivamente, los estudiantes necesitan entender y aplicar los principios fundamentales de fenómenos electrostáticos, magnéticos, electromagnéticos o térmicos, además de manejar magnitudes no visibles, como el flujo magnético [12]. En este sentido, se requiere un esfuerzo considerable de abstracción, así como una elevada inversión de tiempo por parte del alumno, que a menudo desemboca en el abandono de la asignatura en una fase temprana o la no adquisición de los conceptos básicos de conocimiento. Por lo tanto, este tipo de cursos podría beneficiarse del uso de herramientas SAT para predecir qué alumnos con bajo rendimiento abandonarán la asignatura.

Desafortunadamente, los sistemas SAT ya diseñados para otros cursos de ingeniería podrían no ser adecuados para la asignatura de electrónica de potencia presentada en este estudio. Efectivamente, numerosos estudios recientes han demostrado que los modelos generalistas de predicción SAT no podrían identificar adecuadamente a los alumnos en riesgo, mientras que los modelos SAT específicos, entrenados para una asignatura en concreto, son mucho más eficientes en la prevención del bajo rendimiento [11]. En este sentido, las diferencias entre distintos cursos en términos de estructura, objetivos, actividades o esquemas de evaluación, han demostrado tener un gran impacto en la selección de los factores más predictivos para cada caso particular [13]. Por lo tanto, en este trabajo se presenta un estudio que explora la posibilidad de detectar estudiantes que podrían suspender una asignatura concreta de circuitos electrónicos de potencia, con el fin de implantar un esquema SAT específico para esta asignatura.

II. MATERIALES Y MÉTODO

II-A. Principales Características del Curso

Sistemas Electrónicos de Potencia es en una asignatura obligatoria de segundo curso impartida en el Grado de Inge-

nería de Tecnologías de Telecomunicación en la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Esta asignatura muestra a los estudiantes por primera vez en el grado, los conceptos fundamentales de voltaje y potencia trifásica, transformadores, rectificadores monofásicos y trifásicos, convertidores DC-DC aislados y no aislados, inversores monofásicos y trifásicos, e instalaciones fotovoltaicas.

El curso está dividido en cuatro créditos de teoría, según el Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (ECTS) y dos créditos prácticos ECTS. La carga docente se reparte en 40 horas de clase y 20 horas de laboratorio, que se imparten a lo largo de 15 semanas. Por lo tanto, los alumnos han de atender tres sesiones de 90 minutos a la semana, donde dos sesiones están dedicadas a clases teóricas y una sesión está destinada a prácticas de laboratorio. En lo referente a la evaluación de la asignatura, la Tabla I resume las actividades docentes más importantes y su peso dentro de la asignatura. Como puede observarse, el 50 % de la calificación final de la asignatura está repartida a lo largo del curso en diferentes actividades pensadas para fomentar la participación activa del alumnado durante la asignatura [14]. Más concretamente, el esquema de calificaciones se reparte en un 5 % en actividades realizadas en clase (AC), un 5 % en tareas para casa (TC), un 20 % en las actividades de laboratorio (AL), un 20 % en un examen parcial a la mitad del cuatrimestre (EP) y, por último, un 50 % del examen final de la asignatura (EF). El EP se lleva a cabo en la semana 9, de tal forma que los alumnos se examinan de los conocimientos desde el principio del curso, hasta la semana 8, aproximadamente la mitad de la duración del curso. Por otro lado, el EF se lleva a cabo siempre dos semanas después del final de la asignatura.

TABLA I
REPARTO DE PONDERACIONES ENTRE LAS ACTIVIDADES DOCENTES
PLANTEADAS EN CADA CURSO

Metodología docente	Ponderación
Actividades en clase (AC)	5 %
Tareas para casa (TC)	5 %
Actividades en laboratorio (AL)	20 %
Examen parcial (EP)	20 %
Examen final (EF)	50 %
TOTAL	100 %

La evaluación continua del alumno está planteada en una estructura semanal. Así, cada semana comienza con dos clases teóricas donde el profesor enseña conceptos teóricos usando presentaciones en PowerPoint y resuelve en pizarra algunos ejemplos representativos relacionados con la teoría. En los últimos 45 minutos de la segunda sesión de clase, se les pide a los alumnos que resuelvan un ejercicio por ellos mismos. Aunque el trabajo es de carácter individual, los alumnos pueden compartir y discutir posibles soluciones con los compañeros. Esta actividad está enfocada a que el alumnado pueda aplicar de forma práctica lo aprendido en las sesiones teóricas, así como resolver sus dudas particulares. De hecho, mientras que los alumnos resuelven el problema propuesto, el profesor camina entre los pupitres para analizar el progreso general y

resolver dudas particulares de cada alumno. Por otro lado, para animar a los alumnos a continuar practicando los contenidos teóricos vistos en clase, se plantea otro problema práctico distinto para que los alumnos lo resuelvan en su tiempo fuera de clase, a partir de los dos días siguientes a la finalización de la segunda clase teórica. Tanto las AC como las TC son de un nivel similar de dificultad.

La tercera sesión semanal de la asignatura está destinada al laboratorio. En esta clase, los alumnos han de analizar y comprobar el funcionamiento de diferentes circuitos usando la herramienta Simulink de Matlab y montajes reales hechos sobre placas de prototipado. El profesor orienta a los alumnos mediante instrucciones directas para la realización de los ejercicios. Además, los alumnos trabajan en parejas permanentes y antes de que termine la sesión, suben a Moodle las simulaciones y medidas realizadas sobre los circuitos reales, junto con las conclusiones.

Por último, es importante resaltar que todas las actividades realizadas, AC, TC y AL, así como los exámenes parciales de mitad de cuatrimestre fueron corregidos por el profesor en la misma semana en la que el alumno los realizó, asignando puntuaciones en una escala entre 0 y 10.

II-B. Participantes y Variables Predictoras

En este estudio participaron un total de 78 estudiantes matriculados por primera vez en la asignatura durante dos años académicos consecutivos. Es importante destacar que en ambos años académicos, los días de clase a la semana fueron los mismos, repartidos de la misma manera, e impartidos por el mismo profesor. El contenido de la asignatura fue exactamente el mismo en los dos cursos y los temas fueron impartidos en el mismo orden. Además, el sistema de calificaciones descrito anteriormente se mantuvo inalterado de tal forma que las entregas de trabajos fuera de clase, prácticas y exámenes, se llevaron a cabo aproximadamente en las mismas fechas durante el semestre. Tanto el EP como el EF consistieron en cuatro preguntas cortas a contestar y dos problemas con el mismo nivel de dificultad. Por último, destacar que la misma plataforma (Moodle) se usó como herramienta online para intercambio de documentos, desde donde los alumnos se descargaron el material docente y subieron las tareas e informes de laboratorio.

Para aprobar la asignatura los estudiantes tuvieron que cumplir dos requerimientos. Por un lado, la nota global de la asignatura, teniendo en cuenta todos los ítems evaluables, debía ser igual o superior a 5 puntos. Por otro lado, la nota mínima del examen final debía ser igual o mayor que 4 puntos. Para el resto de ítems evaluables no se pusieron requisitos de nota mínima, ya que la regulación de la propia UCLM restringe la asistencia obligatoria para los cursos de grado. Además, tampoco se exigió nota mínima para el examen parcial, pues el objetivo docente de esta prueba era la de dar una posibilidad al estudiante de autoevaluar sus conocimientos de cara al examen final y recibir realimentación de su progreso en la asignatura.

De los 78 estudiantes que participaron en el experimento durante los dos cursos académicos, 48 aprobaron la asignatura (61,5 %), mientras que 30 la suspendieron (38,5 %), bien porque abandonaron la asignatura o bien porque no cumplieron los requisitos mínimos. Esta clasificación binaria (aprobado o suspenso) es la que se utilizó como variable de salida para el entrenamiento y la validación de los modelos de predicción obtenidos. Además, las calificaciones de AC, TC y AL conseguidas por los alumnos durante las cuatro primeras semanas de clase se utilizaron como variables de entrada para la construcción de los modelos predictivos. Este punto de corte se eligió teniendo en cuenta que en este tiempo se han impartido aproximadamente un tercio de los contenidos de la asignatura y se han recopilado suficientes datos objetivos de los alumnos para el entrenamiento de los modelos, a la vez que no es demasiado tarde para aplicar herramientas SAT en la prevención del fracaso del alumnado.

II-C. Modelos Predictivos

Durante los últimos años, se ha utilizado una amplia variedad de algoritmos de clasificación para predecir el rendimiento académico de los alumnos en educación superior [4]. No obstante, no existe un algoritmo universal que funcione de forma correcta en cada escenario educativo, de tal forma que los investigadores suelen utilizar las técnicas que mejor se adaptan a cada caso particular [5]. En este estudio, se analizaron dos técnicas de clasificación muy habituales y extendidas en la evaluación del rendimiento académico del alumnado: análisis lineal discriminante (AL) y árbol de decisión (AD).

Más concretamente, el AL es una técnica estadística que estima una variable de salida en función de la combinación lineal de varias características de entrada. Su objetivo es predecir la probabilidad de ocurrencia de una variable de salida mediante el ajuste de los datos a través de una ecuación lineal, de tal forma que se minimice el error producido en la clasificación. De esta forma, en el periodo de aprendizaje, cada variable de entrada aporta un peso o coeficiente a la ecuación de discriminación de los datos, dependiendo de la relevancia que tenga en la clasificación. Dada su relativa simplicidad, el método de AL ha sido muy utilizado en la predicción del rendimiento académico [15]. Por otro lado, la clasificación por AD consiste en un conjunto de normas en forma de árbol donde los datos se separan en función de una variable, hasta que cada nodo que forma el árbol contiene sólo muestras de una categoría o todas las variables de entrada han sido utilizadas. Este clasificador se caracteriza por su facilidad de implementación, pues consiste en simples reglas de decisión tipo *if-else*, así como en la facilidad para interpretar los datos por su representación visual [15]. Finalmente, cabe destacar que, a pesar de existir diferentes criterios de puntuación para elegir la variable de entrada que mejor separa los datos en cada nivel del árbol, en este estudio se utilizó el índice de Gini, el más común de todos.

II-D. Descripción del Experimento y Evaluación Estadística

Para llevar a cabo el entrenamiento y la validación de los dos clasificadores, se utilizaron como variables de entrada las puntuaciones en crudo de los alumnos, correspondientes a las actividades de AC, TC y AL a lo largo de las cuatro primeras semanas de cada curso. En este periodo de tiempo, ya se han abordado en clase los conceptos básicos sobre circuitos trifásicos y transformadores, que son esenciales para entender sistemas de potencia más avanzados, como por ejemplo, rectificadores e inversores. Por lo tanto, se usó un total de doce características o variables de entrada para la construcción de los modelos, tal que las cuatro primeras características se correspondieron con las calificaciones conseguidas en AC_w , otras cuatro características fueron extraídas de las calificaciones obtenidas en TC_w y, finalmente, las cuatro últimas características se obtuvieron mediante la calificación de AL_w , siendo $w = [1, 4]$ la semana correspondiente a cada actividad.

Por otro lado, la evaluación del rendimiento de clasificación de los dos modelos estudiados se llevó a cabo cuantificando los estudiantes con bajo rendimiento, o verdaderos positivos (VP), estudiantes con rendimiento normal correctamente identificados, o verdaderos negativos (VN), estudiantes con un rendimiento normal clasificados como alumnado de bajo rendimiento, o falsos positivos (FP) y, finalmente, estudiantes con bajo rendimiento clasificados como estudiantes con rendimiento normal, o falsos negativos (FN). Después, se obtuvieron los valores de sensibilidad (Se), especificidad (Sp) y precisión (Ac) de cada modelo, a través de las ecuaciones 1, 2, y 3, respectivamente.

$$Se = \frac{VP}{VP + FN} \quad (1)$$

$$Sp = \frac{VN}{VN + FP} \quad (2)$$

$$Ac = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (3)$$

Así, la Se representa la habilidad del modelo de identificar correctamente los estudiantes que podrían suspender la asignatura, la Sp expresa la capacidad del modelo de rechazar correctamente los alumnos que posiblemente aprobarán y la Ac representa la habilidad del algoritmo de diferenciar entre los alumnos que probablemente suspenderán, de los que posiblemente aprobarán la asignatura.

Finalmente, aunque el método de resustitución ha sido ampliamente utilizado en técnicas de MDE, entrenar y validar los algoritmos de clasificación con las mismas muestras a menudo provoca un efecto de sobreentrenamiento de los modelos de clasificación. Así, el modelo resultante ajusta muy bien para las muestras con las que fue entrenado y validado, consiguiendo un alto rendimiento de clasificación, pero falla cuando se testea con nuevas muestras de población [16]. Por lo tanto, para evitar esta limitación, en este estudio se llevó a cabo un procedimiento estadístico de validación cruzada k -fold

[16], con $k = 2$. En este sentido, el conjunto de datos primero se divide de forma aleatoria en 2 subconjuntos del mismo tamaño, pero asegurándose que la pertenencia a las dos clases está repartida en los subconjuntos de igual manera. Después, se llevan a cabo 2 iteraciones de entrenamiento y validación, de tal manera que en la primera iteración el entrenamiento se realiza con un subconjunto de datos, mientras que la validación se lleva a cabo con el subconjunto restante. En la segunda iteración, se invierten los roles de entrenamiento y validación entre los subconjuntos. Finalmente, se calculan los resultados promedio de las métricas de rendimiento (Se , Sp y Ac) para cada iteración y cada modelo de clasificación.

III. RESULTADOS

Un análisis previo de la muestra recolectada reveló que los datos eran homocedásticos y tenían una distribución normal, de tal manera que en la Tabla II se puede observar la media y desviación estándar para cada una de las características estudiadas, en la segunda y tercera columna, respectivamente. De la misma forma, la cuarta columna de la Tabla II muestra la significación estadística de cada variable ($p < 0,05$), calculada a través de un test de *Student*.

Como se puede observar, existe una tendencia decreciente de las calificaciones para AC, TC y AL, conforme va transcurriendo el curso, con un incremento en su desviación estándar. Los resultados muestran que las calificaciones de los alumnos son cada vez más desiguales y con unas calificaciones promedio más bajas para todos los ítems evaluables. Este hecho se confirma observando el valor de significación estadística para cada variable, donde se puede comprobar que la diferencia entre las medias de ambos grupos es más significativa conforme transcurren las semanas de clase. Las actividades de clase requieren una mención especial, se puede observar que a partir de la segunda semana las diferencias entre grupos ya son significativas ($p = 0,02$), llegando a alcanzar una significación de $5,29 \times 10^{-8}$ en la cuarta semana de clase. Por el contrario, las calificaciones de los trabajos encargados para realizar en casa, son las que menores diferencias muestran entre los aprobados y suspensos, teniendo que esperar hasta a la tercera semana de clase para obtener resultados significativos.

Por otro lado, los resultados obtenidos tras la validación de los modelos de clasificación AL y AD, se muestran en la figura 1 y 2, respectivamente, donde se puede observar una matriz de confusión para cada modelo, junto con los ratios de verdaderos positivos y falsos negativos. En primer lugar, el modelo de AL consiguió una precisión global del 79,5 % diferenciando los alumnos con bajo rendimiento de aquellos con un aprovechamiento normal de la asignatura. En este modelo, cabe destacar el balance entre la capacidad de rechazar los alumnos que tienen un rendimiento normal, con los estudiantes que posiblemente suspenderán la asignatura. Además, la capacidad de predicción del alumnado que suspenderá es del 84 %, frente a la capacidad de predecir satisfactoriamente el aprobado, que es del 72 %.

TABLA II
MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA PARA
CADA CARACTERÍSTICA USADA EN EL APRENDIZAJE Y VALIDACIÓN DE
LOS CLASIFICADORES

Características	Media calificaciones	Desviación estándar	Significación estadística
AC_1	7,96	0,36	0,34
AC_2	7,84	0,38	0,02
AC_3	7,74	0,43	$4,18 \times 10^{-5}$
AC_4	7,61	0,48	$5,29 \times 10^{-8}$
TC_1	7,18	0,44	0,76
TC_2	7,07	0,46	0,11
TC_3	6,87	0,45	0,01
TC_4	6,78	0,56	$2,0 \times 10^{-3}$
AL_1	6,52	0,44	0,17
AL_2	6,41	0,51	0,05
AL_3	6,30	0,56	$6,4 \times 10^{-3}$
AL_4	6,13	0,55	$1,1 \times 10^{-3}$

En cambio, el clasificador AD obtuvo una precisión global de un 69,2%, lo que supone menos de un 10% de rendimiento, con respecto al clasificador anterior. Además, existe un mayor desequilibrio entre la habilidad de identificar estudiantes que suspenderán la asignatura de aquellos que no lo harán. De hecho, la habilidad de clasificar correctamente los estudiantes que suspenderán es del 76%, lo que supone un decremento del 8% en relación al clasificador basado en AL.

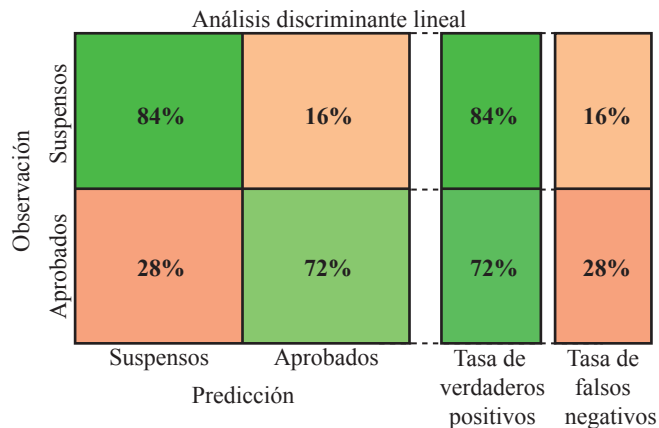


Figura 1. Matriz de confusión obtenida para el modelo de análisis discriminante, junto con sus ratios de aciertos y fallos para los dos grupos.

IV. DISCUSIÓN

Los dos modelos de clasificación presentados en este trabajo fueron entrenados y validados con el objetivo de identificar correctamente los alumnos con bajo rendimiento en el curso de Sistemas Electrónicos de Potencia. Ambos modelos demostraron su efectividad, clasificando correctamente estudiantes con posibilidad de suspender y obteniendo eficiencias de discriminación globales en torno al 75%. No obstante, los resultados de clasificación mostrados por el modelo de AL mejoraron en casi un 10% las del clasificador basado en AD. Además, el modelo de AL consiguió una habilidad de predecir

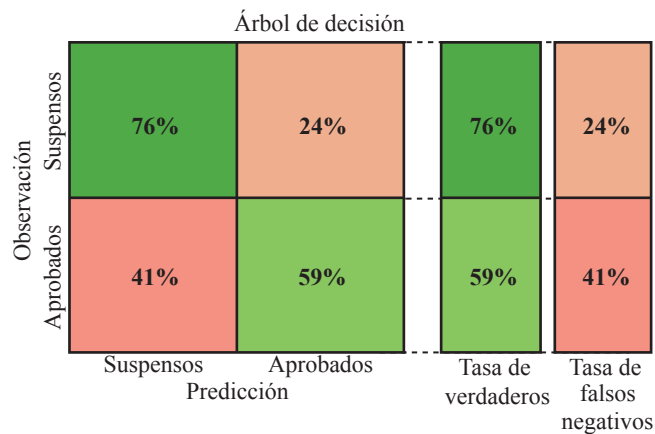


Figura 2. Matriz de confusión obtenida para el modelo de árbol de decisión, junto con sus ratios de aciertos y fallos para los dos grupos.

alumnos suspensos en la asignatura por encima del 84%, frente al 76% del modelo de AD. Esta característica es de especial relevancia en este estudio, porque en los esquemas basados en SAT se persigue sobre todo el incremento de la identificación de los alumnos que podrían suspender la asignatura (es decir, aumentar la Se), siempre que la precisión global (Ac) se mantenga lo más alta posible, para evitar así demasiadas falsas alarmas [8]. En este sentido, no es muy crítico si se falla en la clasificación de los estudiantes que superarán la asignatura, ya que éstos podrían beneficiarse de recibir enseñanza complementaria y mejorar su rendimiento. Sin embargo, si el error de precisión fuera muy alto, estaríamos invirtiendo tiempo y recursos en estudiantes que no necesitarían de este refuerzo docente extra [17].

Una de las posibles causas de esta diferencia de rendimiento entre clasificadores podría deberse a las limitaciones impuestas en la construcción de los modelos. Así, mientras que en el modelo de AL se incluyeron todas las características y no se impuso ninguna restricción, en el modelo de AD se limitó el crecimiento del árbol a un máximo de cuatro saltos de decisión, tal y como puede observarse en la figura 3. Además, como se puede apreciar, para formar el árbol se utilizaron sólo 3 características de las 12 posibles (AC_4 , AL_3 y TC_4). En este sentido, resulta interesante que todas ellas correspondan a variables que cuantifican rendimientos del alumnado a partir de la tercera semana de clase. Efectivamente, cabe destacar que las características estudiadas se mostraron más significativas diferenciando entre grupos de estudio conforme transcurría cada semana. Concretamente, a partir de la segunda semana de clase, las AC y AL se mostraron estadísticamente significativas, mientras que hubo que esperar a la tercera semana de clase para que las TC mostraran el mismo efecto. Esto puede deberse a que las TC no reflejan fielmente el seguimiento de los alumnos en la asignatura, ya que los estudiantes pueden consultar material adicional en casa o pedir ayuda a otros compañeros fuera de clase.

En vista de los resultados, sería posible pensar que conforme

vayan transcurriendo las semanas, la precisión en la clasificación de alumnos con bajo rendimiento se incrementará, pero con el inconveniente de que quedará menos tiempo para implantar medidas correctoras que podrían minimizar la tasa de suspensos. En este sentido, existen trabajos en la literatura que han mostrado el momento ideal de predicción, teniendo en cuenta la precisión alcanzada y el tiempo transcurrido. Por ejemplo, Howard et al [14] concluyó que el momento óptimo para clasificar alumnos con probabilidad de suspender un curso de estadística era la quinta semana. Por otro lado, Lu et al. [18] informó que la sexta semana era el punto de corte ideal en un curso de cálculo avanzado para ingeniería. En el presente estudio, se alcanzaron ratios de alumnos con probabilidad de suspender superiores al 84 %, utilizando exclusivamente las actividades de las cuatro primeras semanas de clase, lo que dejaría margen de tiempo para aplicar acciones correctoras sobre los alumnos que lo necesiten. No obstante, hay que tomar estas comparaciones con mucho cuidado, pues los puntos temporales óptimos para la evaluación de estudiantes depende en gran medida de las características de cada curso y la duración de los mismos.

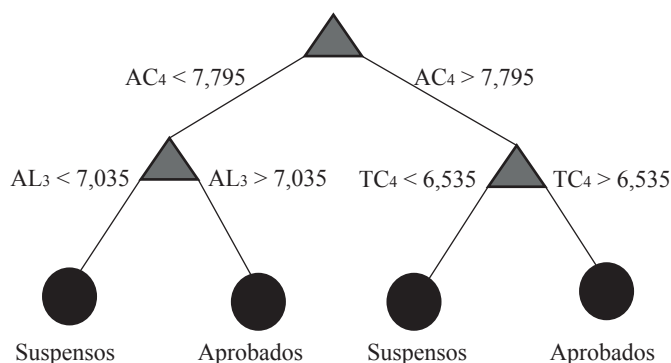


Figura 3. Modelo discriminante basado en un árbol de decisión obtenido considerando las actividades realizadas en clase y las tareas para casa durante la cuarta semana (AC₄ y TC₄, respectivamente), así como las actividades de laboratorio durante la tercera semana (AL₃).

V. LIMITACIONES

A pesar de lo interesante del experimento, es necesario resaltar algunas limitaciones del estudio. Primero de todo, solamente se han utilizado dos clasificadores básicos, cuyos algoritmos son fáciles de implementar. Sin embargo, sería interesante llevar a cabo estudios adicionales utilizando clasificadores más avanzados, como redes neuronales o máquinas de vector soporte. De la misma forma, solamente se han utilizado algoritmos de clasificación, cuando también se podrían haber tenido en cuenta modelos de regresión, ya usados en otros estudios con la misma finalidad [19]. Además, solamente se han utilizado variables relativas al rendimiento académico, cuando algunos estudios recientes señalan algunas características demográficas o socio-económicas como factores influyentes

en el rendimiento académico [4]. Finalmente, destacar que la detección temprana de estudiantes con bajo rendimiento es sólo el primer paso para la construcción de un modelo SAT eficiente y que, por lo tanto, es necesario llevar a cabo futuras investigaciones sobre la clase de refuerzo académico que deberían recibir estos alumnos.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la posibilidad de predecir estudiantes que podrían suspender una asignatura presencial de Sistemas Electrónicos de Potencia. Para llevar a cabo el estudio se programaron dos modelos de clasificación, que dieron unas tasas de precisión globales en la clasificación en torno al 75 %. El punto temporal elegido para hacer esta predicción fue hasta la cuarta semana de clase. Sin embargo, los resultados apuntan a que la precisión podría incrementarse conforme fueran avanzando las semanas del curso. Futuros estudios deberían evaluar el punto óptimo de corte de tal manera que se maximice la precisión y no sea demasiado tarde para actuar desde una perspectiva de refuerzo docente.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a todos los estudiantes que tomaron parte en este estudio.

REFERENCIAS

- [1] A. Dutt, M. A. Ismail, and T. Herawan, "A systematic review on educational data mining," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 15 991–16 005, 2017.
- [2] B. Bakhshinategh, O. R. Zaiane, S. ElAtia, and D. Ipperciel, "Educational data mining applications and tasks: A survey of the last 10 years," *Education and Information Technologies*, vol. 23, no. 1, pp. 537–553, 2018.
- [3] [Online]. Available: <http://www.educationaldatamining.org>
- [4] A. Hellas, P. Ihanola, A. Petersen, V. V. Ajanovski, M. Gutica, T. Hyninen, A. Knutas, J. Leinonen, C. Messom, and S. N. Liao, "Predicting academic performance: A systematic literature review," in *Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 2018, pp. 175–199.
- [5] R. Asif, A. Mercer, S. A. Ali, and N. G. Haider, "Analyzing undergraduate students' performance using educational data mining," *Computers & Education*, vol. 113, pp. 177–194, 2017.
- [6] P. A. Murtaugh, L. D. Burns, and J. Schuster, "Predicting the retention of university students," *Research in Higher Education*, vol. 40, no. 3, pp. 355–371, 1999.
- [7] A. Sandoval, C. Gonzalez, R. Alarcon, K. Pichara, and M. Montenegro, "Centralized student performance prediction in large courses based on low-cost variables in an institutional context," *The Internet and Higher Education*, vol. 37, pp. 76–89, 2018.
- [8] W. Chen, C. G. Brinton, D. Cao, A. Mason-singh, C. Lu, and M. Chiang, "Early detection prediction of learning outcomes in online short-courses via learning behaviors," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 12, no. 1, pp. 44–58, 2019.
- [9] J. Kuzilek, M. Hlostá, D. Herrmannová, Z. Zdrahal, and A. Wolff, "Ou analyse: analysing at-risk students at the open university," *Learning Analytics Review*, pp. 1–16, 2015.
- [10] C. Burgos, M. L. Campanario, D. de la Pena, J. A. Lara, D. Lizcano, and M. A. Martínez, "Data mining for modeling students' performance: A tutoring action plan to prevent academic dropout," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 66, pp. 541–556, 2018.
- [11] F. Marbouti, H. A. Diefes-Dux, and K. Madhavan, "Models for early prediction of at-risk students in a course using standards-based grading," *Computers & Education*, vol. 103, pp. 1–15, 2016.
- [12] R. Aldunate and M. Nussbaum, "Teacher adoption of technology," *Computers in Human Behavior*, vol. 29, no. 3, pp. 519–524, 2013.

- [13] D. Gašević, S. Dawson, T. Rogers, and D. Gasevic, "Learning analytics should not promote one size fits all: The effects of instructional conditions in predicting academic success," *The Internet and Higher Education*, vol. 28, pp. 68–84, 2016.
- [14] E. Howard, M. Meehan, and A. Parnell, "Contrasting prediction methods for early warning systems at undergraduate level," *The Internet and Higher Education*, vol. 37, pp. 66–75, 2018.
- [15] G. Bonaccorso, *Machine learning algorithms*. Packt Publishing Ltd, 2017.
- [16] Y. Jung and J. Hu, "A K-fold averaging cross-validation procedure," *Journal of Nonparametric Statistics*, vol. 27, no. 2, pp. 167–179, 2015.
- [17] Y.-H. Hu, C.-L. Lo, and S.-P. Shih, "Developing early warning systems to predict students' online learning performance," *Computers in Human Behavior*, vol. 36, pp. 469–478, 2014.
- [18] O. H. Lu, A. Y. Huang, J. C. Huang, A. J. Lin, H. Ogata, and S. J. Yang, "Applying learning analytics for the early prediction of students' academic performance in blended learning," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 21, no. 2, pp. 220–232, 2018.
- [19] G. Kostopoulos, S. Kotsiantis, C. Pierrakeas, G. Koutsonikos, and G. A. Gravvanis, "Forecasting students' success in an open university," *International Journal of Learning Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 26–43, 2018.

Diseño de un Controlador Fuzzy para un sistema de Levitación Magnética mediante sensores Hall

J.S. Artal-Sevil

Department of Electrical Engineering
Higher Technical Engineering School
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
jsartal@unizar.es

C. Bernal-Ruiz, A. Bono-Nuez

Department of Electronic Engineering
Higher Technical Engineering School
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
cbernal@unizar.es; antonio@unizar.es

M. Santos Peñas

Department of Computer Architecture
Faculty of Informatics
Complutense University of Madrid
Madrid, Spain
msantos@dacya.ucm.es

Abstract— El presente documento muestra la implementación de las técnicas de Control Fuzzy sobre un pequeño problema de Levitación Magnética. La aplicación analizada es un caso de estudio de un sistema no lineal e inestable. El control Fuzzy es una alternativa apropiada para aquellos casos donde modelar el sistema es complicado, debido principalmente a la complejidad matemática del modelo. La ventaja de las técnicas Fuzzy es que cualquier ajuste adicional en el sistema sólo requiere modificar las distintas reglas difusas implementadas, en lugar de rediseñar de nuevo todo el controlador asociado. El control implementado aquí está constituido por dos lazos de *feedback* (variables posición y corriente). Se ha utilizado un sensor Hall para determinar la posición que ocupa la esfera a levitar. *Matlab/Simulink* ha sido el software utilizado para el desarrollo del modelo y su simulación. De este modo se ha estudiado la respuesta dinámica del sistema. Los resultados y diferentes figuras de mérito obtenidas son mostrados mediante la simulación del modelo presentado. Los objetivos iniciales han sido alcanzados de manera satisfactoria.

Keywords— Fuzzy Control; Control Inteligente; Control No-lineal; Levitación Magnética; Control en modo corriente; Control de posición.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de levitación magnética poseen una naturaleza no lineal y altamente inestable en lazo abierto por lo que requieren una rápida respuesta dinámica del módulo de control. Este tipo de sistemas se caracterizan por necesitar de una fuerza electromagnética que se opone a la fuerza gravitatoria con el propósito de suspender un objeto en el aire. Por todo ello estas aplicaciones han sido consideradas un buen banco de pruebas y análisis de diferentes técnicas de control en ingeniería.

En el supuesto que nos ocupa se ha modelizado, simulado e implementado un caso de aplicación, ver Fig. 1. Para ello se ha utilizado el software *Matlab/Simulink*. Según el algoritmo de control desarrollado, los parámetros de *feedback* requeridos por el controlador han sido la posición del objeto levitado (x) y la corriente (i_L) que circula por la bobina. En este caso se han considerado dos lazos de control. Un lazo interior, compuesto por la corriente i_L , como variable rápida para el control del convertidor. Un lazo externo de control que incorpora la variable más lenta, en este caso la posición x de la esfera levitada.

El sistema analizado es altamente no lineal, lo que hace que su control sea objeto de un continuado estudio por parte de muchos investigadores. Su propósito es mejorar la eficiencia, robustez y fiabilidad del sistema control [1-3]. Por lo general, la mayoría de los métodos de control se encuentran basados en un modelo linealizado, donde este modelo lineal

sólo es válido en las proximidades del punto de equilibrio planteado [4]. Estos sistemas operando en pequeños rangos de operación han sido analizados y propuestos en la literatura científica [5].



Fig. 1. Prototipo de levitación magnética analizado. En la imagen es posible apreciar la bobina de levitación y la esfera levitada. También se observa el pequeño circuito electrónico de control.

En los últimos años diferentes métodos de control avanzado han sido aplicados a sistemas de levitación magnética con el propósito de controlar la posición de un objeto, como el control robusto no lineal [6-7], control adaptativo [8], aplicación de algoritmos genéticos [9], redes neuronales [10], control en modo deslizamiento "sliding-mode control" [11], técnicas de control predictivo [12], etc. La mayor parte de estas estrategias de control poseen una elevada complejidad, como resultado de la inestabilidad del conjunto. Además, en la mayoría de los casos requieren el uso de algoritmos de control relativamente complejos. Todo ello conlleva a un elevado tiempo de computación.

Por otro lado, las técnicas de linealización alrededor de un punto de equilibrio tienen como inconveniente añadido que el rendimiento del sistema se deteriora rápidamente conforme se incrementan las desviaciones respecto al punto de operación calculado. Por lo tanto esta técnica es muy susceptible a la influencia del ruido o de perturbaciones externas. En ocasiones estas perturbaciones provocan oscilaciones en el objeto levitado, de modo que el elemento se desplaza hacia la zona no controlada por el sistema y pierde su estabilidad. Así pues es necesario el diseño de un buen controlador para conseguir una alta precisión en el posicionamiento del objeto levitado. Por este motivo un control activo relacionado con la posición del objeto se hace indispensable en estas aplicaciones. En este tipo de controladores el sensor también resulta ser un factor muy importante y crítico en el control del modelo.

Las técnicas *Fuzzy Control* aplicadas a modelos no lineales han sido ampliamente desarrolladas en la literatura científica. Su principal ventaja es que permite modelar sistemas complejos y no lineales de una forma sencilla pues no requiere del modelo matemático detallado del sistema. De este modo permite relacionar las entradas y salidas sin necesidad de entender todas las variables, lo que permite simplificar el modelo. Además posee una determinada tolerancia al ruido. Así Hernández-Casañas *et al.* [13] presentan la aplicación de un modelo *Fuzzy* adaptativo aplicado sobre un levitador magnético. El control PD implementado es del tipo *Mamdani*, y es una evolución del control PID *Fuzzy* propuesto en [14] y [15] con el propósito de mejorar la respuesta del sistema. Por su parte Golob y Tovornik [16] presentan un sistema de levitación magnética basado en un controlador PID discreto con los parámetros óptimos y un control PID *Fuzzy Logic*. Los autores efectúan una comparación entre ambos métodos de control, apreciándose un menor error de posición y una mejor respuesta dinámica en el modelo desarrollado en *Fuzzy*. En [17], un controlador *Fuzzy* basado en un observador no lineal es propuesto para estimar los estados no medibles en un sistema de levitación magnética. El control en modo deslizante es utilizado para controlar el linealizado del modelo sobre un conjunto de puntos de operación.

Asimismo Unni *et al.* [18] presentan una comparación entre 3 tipos de controladores: PID clásico, *Fuzzy* y LQR (regulador cuadrático-lineal). Los autores comparan la respuesta de los modelos efectuando un análisis de la posición del objeto levitado. En el caso del controlador PID convencional se aprecian mayores oscilaciones en la respuesta del sistema y un incremento en el tiempo de estabilización. El controlador *Fuzzy* destaca por el bajo valor de sobreoscilación, bastante menor que el PID convencional. Por último, el controlador LQR es planteado en forma de variables de estado. En este caso el error de posición y el tiempo de estabilización es menor que en los casos anteriormente estudiados. El controlador *Fuzzy* tiene como ventaja que no requiere del modelo exacto del sistema, mientras que el controlador LQR requiere un conocimiento más profundo y detallado, puesto que el modelo matemático es mucho más complejo. Desde la perspectiva del ajuste, el controlador *Fuzzy* es el más fácil de ajustar pues está basado en variables lingüísticas.

En este documento una pequeña aplicación de levitación magnética ha sido presentada. La técnica *Fuzzy Control* ha sido descrita y aplicada al sistema no lineal e inestable. De este modo el modelo fue analizado e implementado. Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente forma. La sección 1 muestra una breve introducción junto con el state-of-the-art del problema abordado. Los diferentes principios físicos que rigen el comportamiento del prototipo de levitación son mostrados en la sección 2. Por otra parte la sección 3 presenta la descripción del sistema y los diferentes elementos que lo integran. Mientras el apartado 4 presenta las diferentes reglas base implementadas en el *Fuzzy Control*. El estimador *Fuzzy* es mostrado en este ítem. Al mismo tiempo, la sección 5 muestra los resultados obtenidos. *Matlab/Simulink* ha sido el software utilizado para verificar el comportamiento del controlador PD implementado y su respuesta dinámica. Por último, las conclusiones son mostradas en el apartado 6.

II. PRINCIPIOS FÍSICOS

En esta sección se describe brevemente el prototipo experimental de levitación magnética desarrollado y el modelo matemático que ha sido usado. La esfera levitada permanece sólo estabilizada en el plano vertical (levitación axial-1D), no ha sido considerada la rotación alrededor de su propio eje. El propósito de estos sistemas de levitación es crear una fuerza magnética que se oponga a la fuerza de gravedad, de modo que el objeto no posee ningún contacto mecánico, Fig. 2.

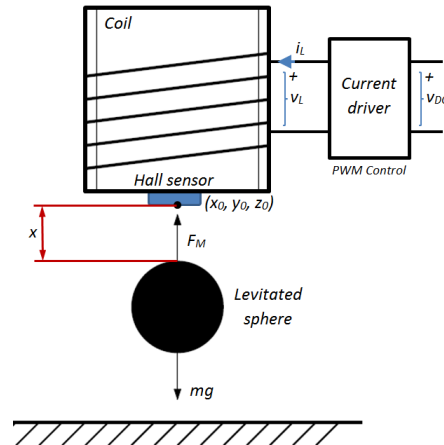


Fig. 2. Diagrama esquemático del sistema de levitación magnética estudiado. En la imagen es posible apreciar algunas de las variables asociadas a la esfera levitada y la bobina.

En general, para conseguir la levitación magnética de un objeto es necesario implementar un sistema basado en un control dinámico. El modelo matemático del sistema de levitación magnética constituye la base del algoritmo de estimación y el diseño del controlador de posición. Así un modelo aproximado del sistema es necesario para conseguir una buena estimación y eficiencia en el control. En el prototipo implementado sólo la velocidad de desplazamiento vertical es controlada, levitación axial-1D. De este modo el modelado del sistema de levitación magnética está basado en diferentes ecuaciones físicas (mecánicas y electromagnéticas), al mismo tiempo que se considera su rango de operación.

Así pues, haciendo uso de la ecuación de la dinámica dada por la tercera ley de Newton se obtiene (1). En este caso, no se han considerado los términos asociados a la fuerza de amortiguación y rozamiento del objeto suspendido con el aire. Algunos autores [8], [10] consideran estos fenómenos físicos, introduciendo términos adicionales en esta expresión.

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = mg - F_M \quad (1)$$

Donde m es la masa del objeto, x es la posición del objeto levitado con respecto al punto de referencia del eje de coordenadas (x, y, z) , F_M es la fuerza magnética resultante desarrollada por el electroimán y g es la constante de la gravedad $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Del mismo modo se puede considerar que la fuerza electromagnética F_M desarrollada por la bobina es proporcional al cuadrado de la corriente i_L que atraviesa la bobina e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia x comprendida entre el objeto y la bobina [5].

$$F_M = c \frac{i_L^2}{x^2} \quad (2)$$

Siendo i_L la corriente que circula por la bobina, c una constante que depende de los parámetros geométricos del prototipo mientras que x es la distancia al objeto levitado. De este modo en la condición de equilibrio (x_0) se obtiene, (3)

$$mg = c \frac{i_o^2}{x_o^2} \quad (3)$$

Aplicando ahora las ecuaciones eléctricas al modelo analizado se obtiene (4).

$$v_L = Ri_L(t) + L(x) \frac{di_L(t)}{dt} \quad (4)$$

Donde v_L es el voltaje aplicado a la bobina, i_L es la corriente que atraviesa la bobina, R es la resistencia de la bobina y $L(x)$ es la inductancia de la bobina que además es función de la posición que ocupa el objeto levitado. De esta forma la fuerza magnética F_M es el resultado de las variaciones de i_L .

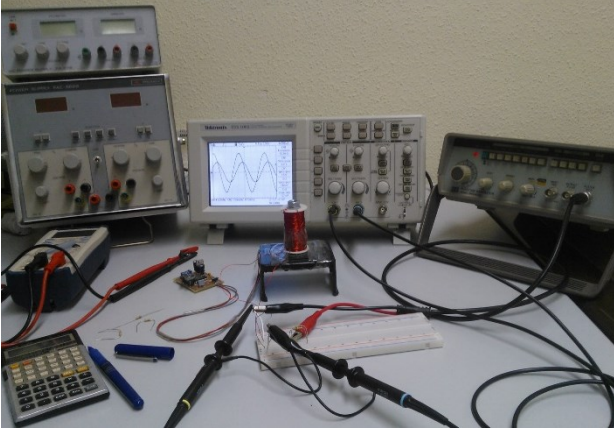


Fig. 3. Determinación experimental de los parámetros asociados a la bobina de levitación.

Así pues, como es lógico pensar, la inductancia de la bobina es función de la posición que ocupa la esfera levitada $L(x)$, siendo este parámetro la primera fuente de no linealidad del sistema. Numerosos autores han propuesto diferentes ecuaciones que expresan la variación de esta inductancia y que describen su comportamiento [19-21]. En el caso analizado se ha considerado que la inductancia $L(x)$ sigue una aproximación a una función del tipo exponencial, (5).

$$L(x) = L_1 + L_0 e^{-x/a} \quad (5)$$

Siendo a una constante determinada empíricamente (basada en las dimensiones de la bobina), mientras que L_1 y L_0 son los valores de la inductancia de la bobina en las condiciones límite. El método de estimación de estas inductancias es el siguiente: L_1 es el valor de la inductancia sin objeto levitando ($x = \infty$) y $L_0 + L_1$ es la inductancia cuando el objeto está en contacto con el núcleo de la bobina ($x = 0$).

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este documento se presenta el modelado de un control activo desarrollado a través de un controlador PD Fuzzy; este diseño está basado en la descripción lingüística de la estrategia de control. Como variables de entrada se han considerado la posición del objeto x (mm) y la masa de la

esfera levitada $mass$ (kg). En la Fig. 4 se representa el diagrama de bloques del modelo desarrollado en *Matlab/Simulink*. Con objeto de efectuar un modelizado lo más fidedigno posible de todo el conjunto se ha incorporado el módulo electrónico de potencia, constituido por un *H-Full Bridge* y el driver de control.

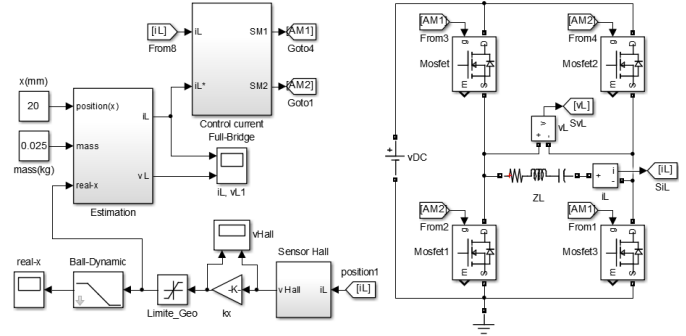


Fig. 4. Diagrama de bloques del sistema. En la parte central de la imagen se puede apreciar el convertidor H-Full Bridge que alimenta a la carga Z_L (bobina del levitador).

Con el propósito de mejorar la respuesta dinámica del sistema, se han incorporado dos lazos de realimentación. Un primer lazo de control interno cuyo propósito es garantizar una rápida respuesta de la variable corriente i_L del convertidor (*closed-loop current control*). Este lazo permite llevar a cabo el control en modo corriente del módulo de potencia. Dada la linealidad de la variable se ha incorporado un control PI clásico. También fue incorporado en el modelo un segundo lazo asociado a la posición (x) que ocupa el objeto levitado. Este lazo externo está compuesto por la variable más lenta en el sistema. A su vez, este lazo de realimentación incorpora el controlador Fuzzy y el modelo de sensor Hall, ver diagrama en la Fig. 4. En las siguientes subsecciones se describen cada uno de los bloques mostrados en la figura.

A. Control en modo Corriente

Este bloque, ver diagrama Fig. 5, tiene por objeto generar las señales PWM de disparo (AM1 & AM2) de los MOSFET que constituyen el *Full-Bridge*. Estos dispositivos alimentan a la bobina L . Para evitar las variaciones de impedancia de la bobina con respecto a la posición de la esfera levitada $L(x)$, se ha desarrollado un control en modo corriente; siendo esta magnitud la encargada de generar el tiempo de activación t_{ON} de los dispositivos electrónicos.

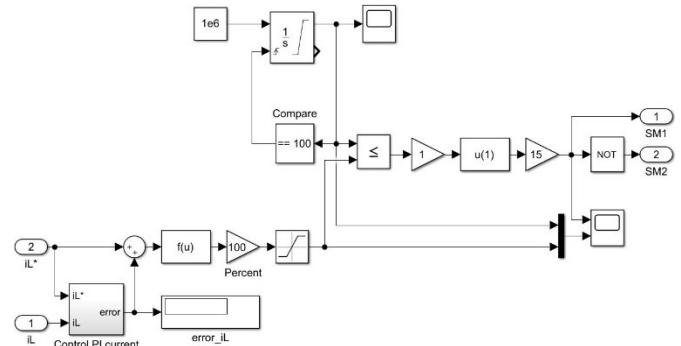


Fig. 5. Control en modo corriente del lazo de potencia. El módulo consiste en la generación de una señal PWM a partir de la generación de una onda en diente de sierra y su comparación con la magnitud de referencia (i_L).

De este modo se ha simplificado bastante el diseño del algoritmo de control con respecto a considerar a v_L como la

variable de control; puesto que este voltaje v_L depende de otros parámetros $v_L = f(R_L, L(x))$. A partir de la señal en diente de sierra (generada por el bloque denominado *integrator limited*) y la variable i_L se crea una señal PWM de frecuencia de conmutación $f_0 = 10\text{kHz}$ y un *duty cycle* (D) variable $0\% < D < 100\%$ proporcional al valor de corriente i_L necesaria en cada instante por la carga. Dada la topología del *H-Full Bridge*, es posible cambiar el sentido de la corriente a través de la bobina, de modo que esta configuración permite atraer o repeler a la esfera levitada.

El lazo de control en modo corriente incorpora un controlador PI clásico con objeto de mejorar la respuesta dinámica del convertidor. En este supuesto la corriente es la variable rápida de control. Así pues, es posible corregir el error entre el valor de corriente (i_L^*) demandado por el estimador con respecto al valor de corriente real (i_L) que circula por la bobina (Fig. 6).

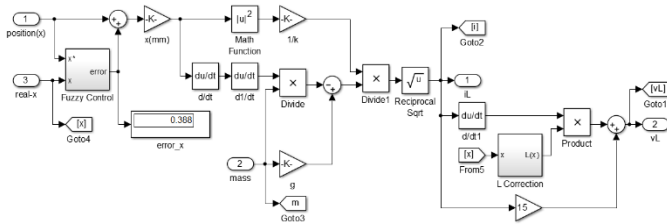


Fig. 6. Módulo estimador de la corriente i_L y control Fuzzy aplicado a la posición de la esfera (x).

B. Sensor Hall y Posición de la esfera

El sensor de posición es un factor muy importante y crítico en el control del modelo; un buen sensor evita problemas y asegura la adecuada levitación del objeto. Para introducir la posición de la esfera levitada dentro del estimador se ha desarrollado un lazo de realimentación mediante un sensor Hall. Dada la imposibilidad de incorporar una variable real externa, se ha estimado la posición que ocupa la esfera en el espacio axial-1D mediante el parámetro inducción magnética B generada por la bobina.

Por otra parte, como es lógico pensar, las líneas del campo magnético en el entrehierro y su magnitud se encuentran fuertemente influenciadas por la posición del objeto levitado. De este modo el sensor Hall proporciona una tensión proporcional al vector inducción magnética B . Asimismo se ha incorporado un factor corrector k_m de la distorsión provocada por la masa de la esfera. Este coeficiente corrector es un parámetro que incorpora a su vez no linealidad en la respuesta del sensor, (6).

$$B = k_m \frac{\mu_0 N}{L} i_L \quad (6)$$

Donde B es la inducción magnética generada por la bobina, μ_0 representa la constante de permeabilidad magnética del vacío $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$, N es el número de vueltas de la bobina, L es la inductancia de la bobina y k_m es el factor corrector introducido que genera el efecto de esfera magnética levitada $k_m = f(\text{mass}, i_L^2)$. Este coeficiente incorpora un fenómeno no lineal en el lazo de realimentación del sistema. Del mismo modo, el sensor Hall proporciona una tensión v_{Hall} proporcional a la inducción magnética B producida, (7).

$$V_{\text{Hall}} = k_{\text{Hall}} B \quad (7)$$

Donde v_{Hall} es el voltaje proporcionado por el sensor Hall mientras k_{Hall} es la constante de conversión; valores típicos $k_{\text{Hall}} = 3,125\text{mV/Gauss}$. De este modo la posición x (mm) de la esfera levitada con respecto a la base de la bobina (punto considerado como la referencia geométrica) es proporcional a la tensión del sensor Hall, (8).

$$x_{\text{real}} = k_x V_{\text{Hall}} \quad (8)$$

Siendo x_{real} (mm) la posición real de la esfera magnética levitada y k_x la constante de conversión dimensional. Del mismo modo se ha incorporado un bloque de saturación (Fig. 4) con objeto de modelar los diferentes límites geométricos inherentes en el prototipo. También se ha introducido un filtro paso bajo "*Ball-Dynamic*", con una frecuencia de corte $f_c = 100\text{Hz}$, para reproducir la dinámica lenta en el desplazamiento de la esfera levitada. Hay que hacer notar que el objeto posee una determinada inercia y no puede desplazarse tan rápido como exigen las variaciones de las magnitudes eléctricas.

IV. ESTIMADOR Y CONTROL FUZZY

En este apartado se plantean las ecuaciones que rigen el principio de operación del sistema. El módulo de la Fig. 6 tiene por objeto determinar el valor de la corriente i_L necesaria por la bobina de acuerdo a las condiciones iniciales: posición de referencia (x) y masa de la esfera (mass). Al mismo tiempo incorpora el lazo de realimentación lento correspondiente a la variable posición. Dado que el sistema posee una expresión no-lineal (9), se ha seleccionado un controlador PD Fuzzy. En este caso el error de posición e_x con respecto a la posición deseada ($e_x = x^* - x$) es incorporado dentro del diagrama de estimación de la variable corriente i_L .

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = mg - c \frac{i_L^2}{x^2} \quad (9)$$

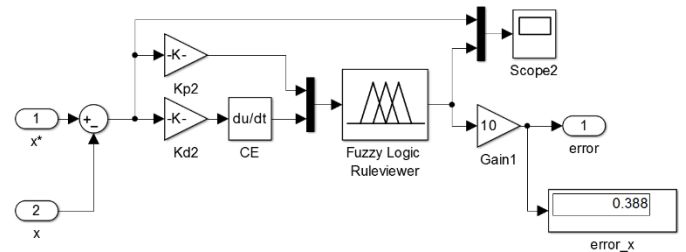


Fig. 7. Diagrama del control PD Fuzzy aplicado.

La lógica Fuzzy tiene las ventajas de operar con entradas generales en lugar de un determinado modelo matemático correcto y permite manejar no linealidades matemáticas. Un controlador Fuzzy está constituido por tres bloques diferenciados: *Fuzzificación* (convierte el valor escalar real en valores lingüísticos), sistema de inferencia Fuzzy (núcleo del controlador donde se encuentran todas las reglas base de funcionamiento) y *Defuzzificación* (proceso en el cual los términos difusos se convierten en valores reales nuevamente).

Usando estos bloques mencionados es posible implementar el controlador Fuzzy en tiempo real. Estas reglas base están asociadas a las entradas y salidas del controlador Fuzzy y de ellas se deriva el comportamiento del sistema. Básicamente contienen el conocimiento adquirido por el diseñador (reglas Fuzzy) y son implementadas en la forma "if-then". Así el proceso de toma de decisiones depende de la

base de conocimiento (regla), es decir, del experto del sistema. Estas reglas representan condiciones que se ocupan de la relación entre la entrada y la salida del sistema difuso en términos de variables lingüísticas. En este supuesto, por facilidad de implementación, se ha utilizado el bloque *Fuzzy Control* proporcionado por la *toolbox* de Matlab "fuzblock".

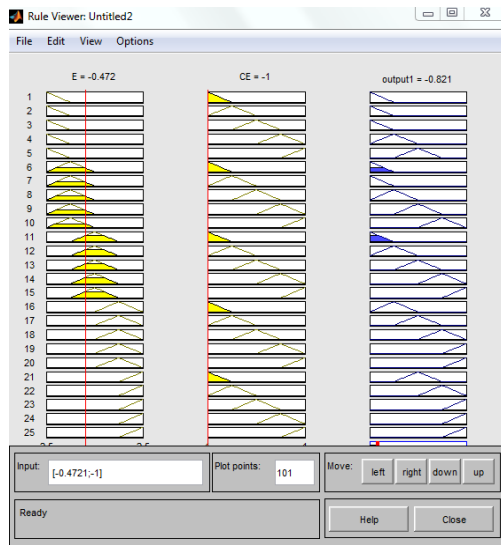


Fig. 8. Visualizador de funcionamiento del controlador *Fuzzy*.

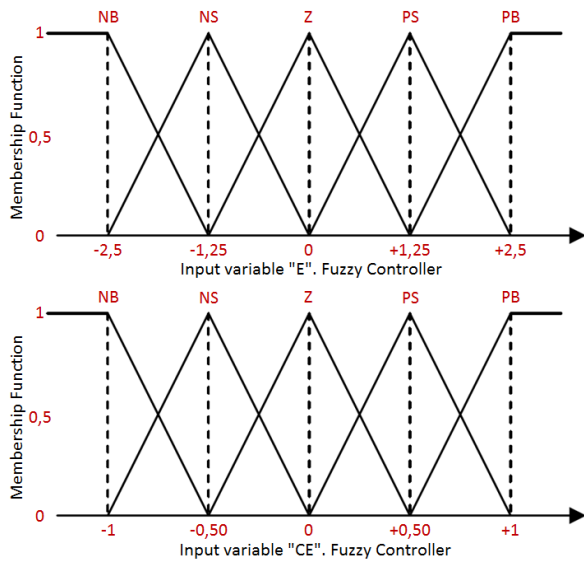


Fig. 9. Diagrama esquemático de los intervalos incorporados sobre las variables error (E) y tasa de cambio (CE).

El modelo considera como variables de entrada: el error (E) y su tasa de cambio (CE), derivada del error, y plantea 5 conjuntos *Fuzzy*: "NB" (*Negative Big*), "NS" (*Negative Small*), "Z" (*Zero*), "PS" (*Positive Small*), "PB" (*Positive Big*). Las señales de entrada se convierten en un conjunto *Fuzzy* utilizando un formato triangular con el 50% de superposición, (Fig. 9). Asimismo, el rango de las variables de entrada se mantiene dentro de los siguientes intervalos $E = [-2,5; +2,5]$, $CE = [-1; +1]$, mientras que la salida $Output1 = [-1; +1]$. La superficie de salida correspondiente es mostrada en la Fig. 10. El algoritmo *Fuzzy* está basado en las reglas base mostradas en la Tabla I. La inferencia *Fuzzy* que ha sido utilizada es del tipo *Mamdani*. Este tipo de algoritmo

proporciona una forma simple y directa de incorporar las reglas mediante el uso de variables lingüísticas.

Mientras en el módulo de *defuzzificación*, la salida se transforma de una variable lingüística a una variable numérica que proporciona una señal analógica que es función de la tabla de base de reglas (Tabla I) y el método de inferencia utilizado. Mientras, como técnica de inferencia se ha utilizado el método del centroide (el cual toma el centro del área bajo la curva), ya que es considerado como una de las rutinas de *defuzzificación* más comúnmente utilizadas. La Fig. 9 representa las funciones error "E" y su tasa de cambio "CE", parámetros utilizados en el módulo de control. Calculando estos parámetros (E; CE), el controlador determina la siguiente acción requerida de la base de conocimiento *Fuzzy*.

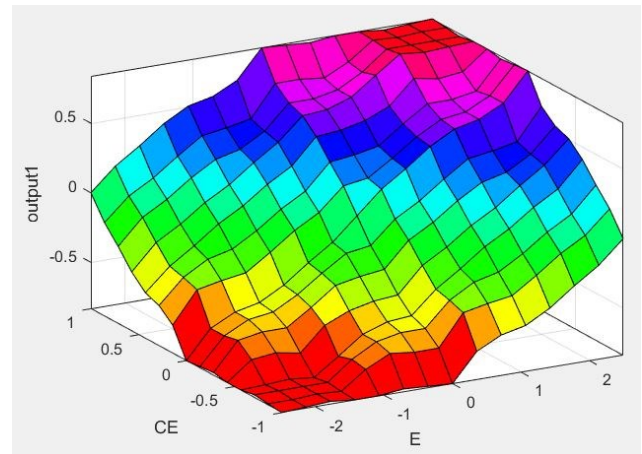


Fig. 10. Superficie de salida del controlador *Fuzzy*.

La Fig. 7 representa el diagrama de control PD *Fuzzy* implementado en el sistema. Se ha utilizado el bloque de *Fuzzy Logic Ruleviewer* ya que permite seguir de forma visual e intuitiva el comportamiento del lazo de control, ver Fig. 8. Asimismo, las variables k_p y k_d se han estimado de forma experimental, adoptando los valores $k_p = 1,25$ y $k_d = 0,0125$. Por otra parte, la tabla 1 muestra las diferentes reglas implementadas en el controlador *Fuzzy*.

TABLE I. REGLAS BASE DEL CONTROLADOR FUZZY.

CE/E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

El control *Fuzzy* es una alternativa apropiada para los casos donde modelar el sistema resulta complicado debido a la complejidad matemática del modelo o a la problemática asociada a su lazo de control. La principal ventaja de este controlador es que cualquier ajuste adicional en el sistema sólo requiere modificar las reglas difusas en lugar de rediseñar todo el controlador. De ese modo el control *Fuzzy* no sólo simplifica el diseño, sino que también reduce la tarea monótona de resolver las ecuaciones matemáticas complejas de los sistemas no lineales. La Fig. 8 muestra el visualizador

RuleViewer proporcionado por la herramienta de *Matlab* durante el funcionamiento del sistema. En este caso el error e_x proporcionado por el control está dado por la variable de salida *output1*. A su vez, la Fig. 11 muestra la interface de usuario del editor *Fuzzy* dentro del entorno *Matlab/Simulink*.

Como inconveniente observado durante el desarrollo del modelo de control *Fuzzy* es que su ejecución desde el entorno *Matlab/Simulink* requiere un mayor tiempo de cómputo que el modelo PID clásico. Aunque es posible que la implementación práctica de esta técnica de control sobre algunas FPGA's u otros microcontroladores precisen de un menor número de recursos tecnológicos que otros mecanismos de control más complejos.

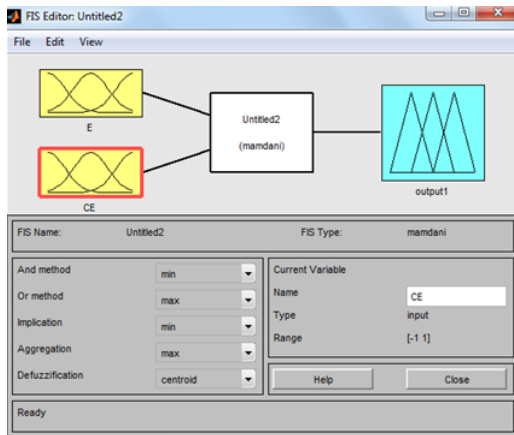


Fig. 11. Interface del editor del controlador *Fuzzy*.

A partir de las diferentes reglas base del control *Fuzzy* mostradas en la Tabla I, se implementaron sobre la herramienta proporcionada por la *toolbox* de *Matlab* las diferentes reglas de inferencias FIS que conforman el control de posición. De esta forma la incidencia sobre la salida (*output1*) es mayor o menor en función del valor lingüístico adoptado por las variables de entrada (C, CE). A continuación, se muestran las 25 opciones resultantes en función de los conjuntos ("NB", "NS", "Z", "PS", "PB").

1. If (E is NB) and (CE is NB) then (output1 is NB)
2. If (E is NB) and (CE is NS) then (output1 is NB)
3. If (E is NB) and (CE is Z) then (output1 is NB)
4. If (E is NB) and (CE is PS) then (output1 is NS)
5. If (E is NB) and (CE is PB) then (output1 is Z)
6. If (E is NS) and (CE is NB) then (output1 is NB)
7. If (E is NS) and (CE is NS) then (output1 is NB)
8. If (E is NS) and (CE is Z) then (output1 is NS)
9. If (E is NS) and (CE is PS) then (output1 is Z)
10. If (E is NS) and (CE is PB) then (output1 is PS)
11. If (E is Z) and (CE is NB) then (output1 is NB)
12. If (E is Z) and (CE is NS) then (output1 is NS)
13. If (E is Z) and (CE is Z) then (output1 is Z)
14. If (E is Z) and (CE is PS) then (output1 is PS)
15. If (E is Z) and (CE is PB) then (output1 is PB)
16. If (E is PS) and (CE is NB) then (output1 is NS)
17. If (E is PS) and (CE is NS) then (output1 is Z)
18. If (E is PS) and (CE is Z) then (output1 is PS)
19. If (E is PS) and (CE is PS) then (output1 is PB)
20. If (E is PS) and (CE is PB) then (output1 is PB)
21. If (E is PB) and (CE is NB) then (output1 is Z)
22. If (E is PB) and (CE is NS) then (output1 is PS)
23. If (E is PB) and (CE is Z) then (output1 is PB)
24. If (E is PB) and (CE is PS) then (output1 is PB)
25. If (E is PB) and (CE is PB) then (output1 is PB)

Así pues, observando el diagrama de la Fig. 9 que muestra el perfil de los diferentes intervalos asociados a las variables error E y tasa de cambio CE, puede interpretarse el significado de las diferentes etiquetas lingüísticas, así como su influencia sobre la dinámica del sistema de control *Fuzzy*. De esta forma, por ejemplo, la reinterpretación de las etiquetas lingüísticas asociadas a la regla base 3 "If (E is NB) and (CE is Z) then (output1 is NB)" sería equivalente a: si el error E es NB (*Negative Big*) mientras que la tasa de cambio CE resulta Z (*Zero*), la salida del controlador *Fuzzy* es grande (*Negative Big*).

TABLE II. PARÁMETROS DEL MODELO EXPERIMENTAL.

Parámetro	Símbolo	Valor
Resistencia bobina	R_L	$8,2\Omega$
Inductancia bobina	L	20mH
Frecuencia conmutación	f_{sw}	10kHz
Tensión alimentación	v_{DC}	+75V
Constante sensor Hall	k_{Hall}	3,125mV/Gauss
Masa esfera levitada	m	12,5 a 37,5g
Altura punto referencia	x	5 a 30mm
Permeabilidad magnética vacío	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A
Constante gravedad	g	9,81m/s ²

V. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se muestra el comportamiento dinámico del modelo desarrollado para diferentes valores de las variables de entrada (x , $mass$). *Matlab/Simulink* ha sido el software utilizado para el modelado sistemático del sistema. La tabla II muestra algunos parámetros adoptados durante el desarrollo del sistema de levitación. En todos los supuestos se ha considerado un tiempo máximo de simulación de 0,5s. De este modo se han obtenido las diferentes curvas asociadas a la respuesta dinámica del sistema, así como en el estado estacionario.

En primer lugar, se ha considerado una esfera magnética de masa $m = 25g$ modificando la altura de levitación con respecto a la coordenada de referencia del electroimán (base de la bobina $x_0 = 0mm$). Se analiza la respuesta dinámica del sistema para diferentes valores en la posición x de la esfera levitada $x = (10mm, 20mm, 30mm)$. Como parámetros de análisis se ha considerado t_s (*rise time*) como el tiempo de respuesta que tarda el objeto en alcanzar el 90% de la posición deseada (x^*), y t_{st} (*steady-time*) como el tiempo que tarda la respuesta en alcanzar el estado estacionario.

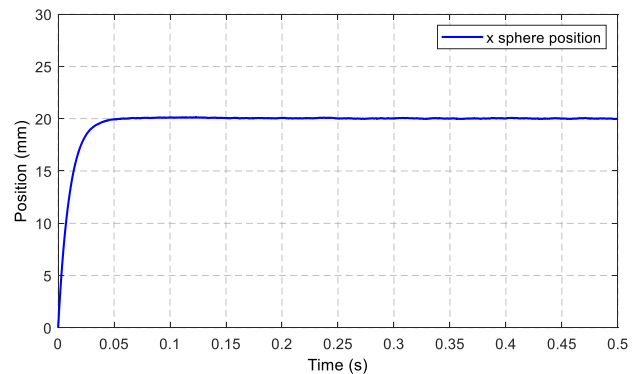


Fig. 12. Datos iniciales: $m=25g$, $x=20mm$. Respuesta sistema: $t_r=22,5ms$, $t_{st}=50ms$, $i_L=2A$.

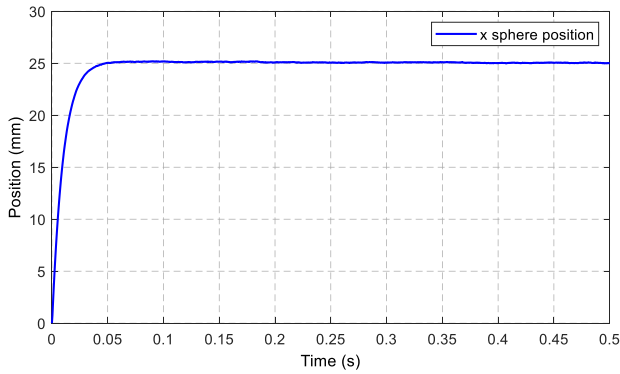


Fig. 13. Datos iniciales: $m=25\text{g}$, $x=25\text{mm}$. Respuesta sistema: $t_r=22,5\text{ms}$, $t_{st}=0,20\text{s}$, $i_L=2,497\text{A}$.

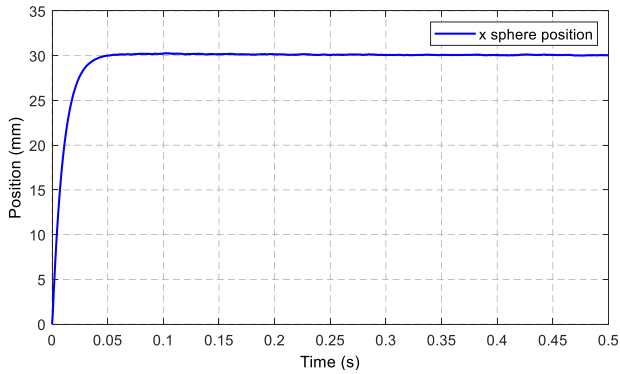


Fig. 14. Datos iniciales: $m=25\text{g}$, $x=30\text{mm}$. Respuesta sistema: $t_r=22,65\text{ms}$, $t_{st}=0,25\text{s}$, $i_L=3\text{A}$.

De acuerdo a los resultados mostrados en las Fig. 12, 13 y 14, se puede apreciar que el comportamiento del sistema es satisfactorio y la respuesta dinámica del modelo se adapta rápidamente a las especificaciones incorporadas. Como se observa el tiempo de respuesta (t_r) del controlador de posición Fuzzy resulta ligeramente inferior a $t_r < 50\text{ms}$. También se aprecia que conforme se incrementa la altura "x" del objeto levitado aparecen pequeñas oscilaciones atenuadas sobre la respuesta del sistema.

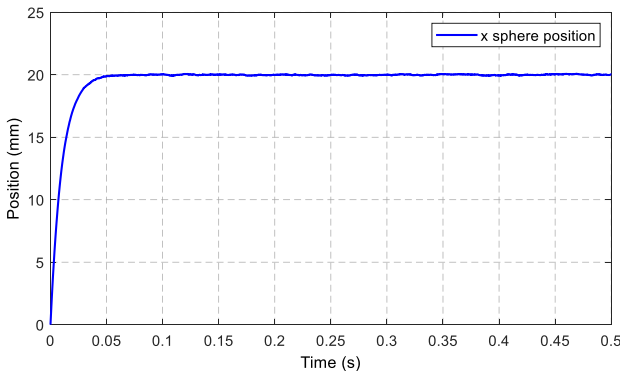


Fig. 15. Datos iniciales: $m=12,5\text{g}$, $x=20\text{mm}$. Respuesta sistema: $t_r=24\text{ms}$, $t_{st}=65\text{ms}$, $i_L=1,405\text{A}$.

Del mismo modo, las Fig. 12, 15 y 16 recogen la respuesta del sistema frente a variaciones en la masa de la esfera magnética levitada. Como se observa en las diferentes figuras no se aprecia una desviación del comportamiento con respecto a la variabilidad de los datos de entrada x (mm) y $mass$ (g). Está claro que conforme se incrementa la masa de la esfera aumenta la corriente media i_L requerida por la bobina.

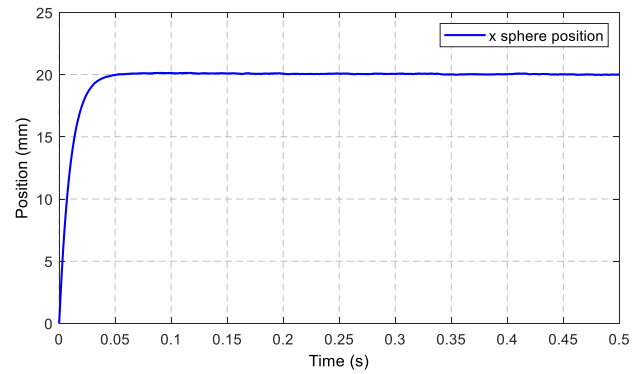


Fig. 16. Datos iniciales: $m=37,5\text{g}$, $x=20\text{mm}$. Respuesta sistema: $t_r=22,5\text{ms}$, $t_{st}=95\text{ms}$, $i_L=2,445\text{A}$.

Mientras que las Fig. 17 - 18 muestran la tensión v_L en los bornes de la bobina y su corriente i_L en estado estacionario. De manera sincrónica con las anteriores señales también es posible observar la generación del duty cycle (D) a partir de la señal portadora triangular. De esta forma se obtiene la señal de disparo de los dispositivos Mosfets AM1.

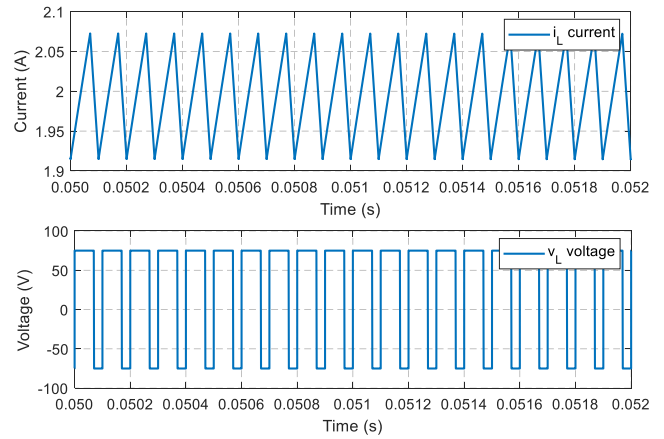


Fig. 17. Rizado de la corriente i_L en la bobina y tensión v_L entre sus extremos. Datos iniciales: $m=25\text{g}$, $x=20\text{mm}$ ($i_{L\text{avg}}=2,0\text{A}$).

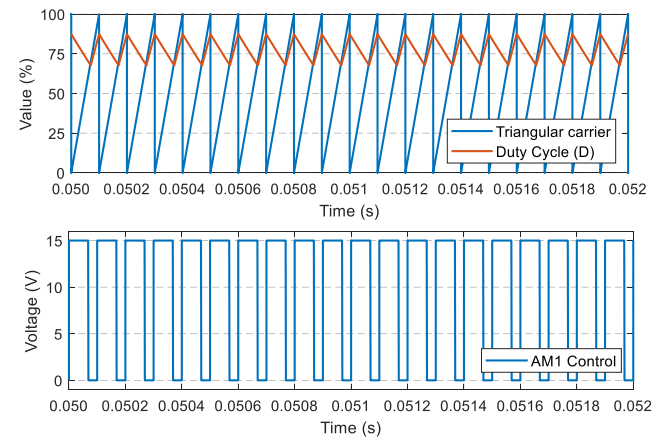


Fig. 18. Obtención del duty cycle (módulo de control de corriente): señal triangular portadora y duty cycle (%). Señal de disparo de los dispositivos AM1. Datos iniciales: $m=25\text{g}$, $x=20\text{mm}$ ($i_{L\text{avg}}=2,0\text{A}$).

La tensión del bus $v_{DC} = +75\text{V}$ impone los límites de tensión PWM sobre Z_L . Como es lógico pensar un incremento en la masa del objeto se traduce en un incremento de la fuerza magnética necesaria, así como una mayor corriente requerida por la bobina i_L . Todo ello deriva en un mayor valor medio de la tensión sobre la bobina. De este modo la tensión v_{DC}

impone otro límite de funcionamiento del sistema, es decir se impone un límite en los parámetros masa de la esfera (*mass*) y posición (*x*) debido al valor máximo de la corriente del convertidor $i_{L|_{max}}$.

Por último, la Fig. 19 presenta la respuesta dinámica de la corriente i_L en la bobina, la generación del duty cycle $D(\%)$ junto con la señal de disparo de los dispositivos Mosfets AM1, cuando se modifica la posición $x_0 \rightarrow x_1$ de la esfera magnética levitada (posición inicial $x_0 = 20\text{mm}$; final $x_1 = 25\text{mm}$). Como consecuencia de la variación de los parámetros de entrada. Como se observa en la Fig. 19 la respuesta dinámica obtenida en el modelo es muy rápida.

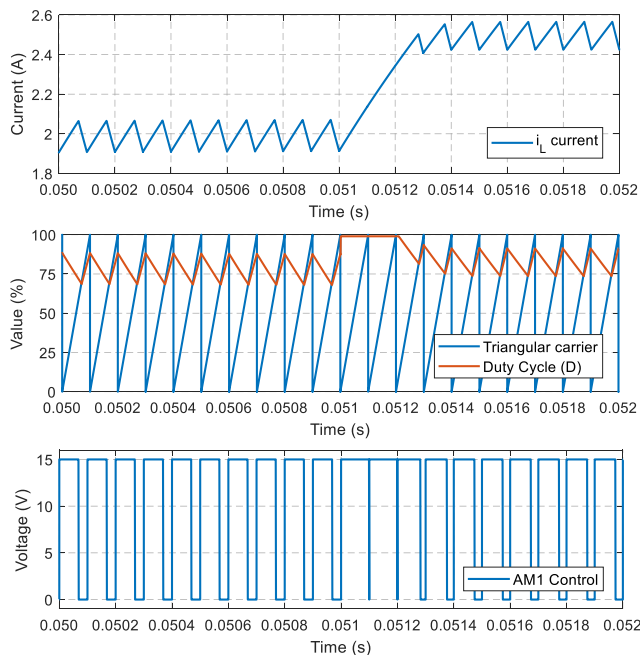


Fig. 19. Respuesta dinámica de la corriente i_L en la bobina, duty cycle $D(\%)$ (módulo control de corriente) y señal de disparo de los dispositivos AM1. Datos iniciales: $m=25\text{g}$, posición inicial (x_0, i_{L0}) posición final (x_1, i_{L1}). Valores obtenidos ($x_0=20\text{mm}$, $i_{L0\text{avg}}=1,995\text{A}$) ($x_1=25\text{mm}$, $i_{L1\text{avg}}=2,496\text{A}$).

VI. CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado el modelado y simulación de un levitador magnético. La posición (x) y masa de la esfera levitada (*mass*) han sido consideradas las variables de entrada del sistema. El control está constituido por dos lazos de realimentación. Un lazo interno rápido que asegura el control en modo corriente del convertidor; y un lazo externo lento que analiza la posición de la esfera levitada. De este modo, se ha implementado un control PD Fuzzy híbrido sobre el lazo externo con el propósito de controlar la posición (x).

El controlador Fuzzy ha sido implementado con objeto de mejorar la respuesta dinámica del sistema. Se ha comprobado que el control requiere un análisis matemático menos profundo y detallado que las técnicas basadas en el control PID clásico. De este modo, ha quedado demostrado que el control Fuzzy es una alternativa en aquellos casos donde modelar el sistema resulta complejo, como consecuencia asociada a la complejidad matemática del modelo. Además, el control Fuzzy ha demostrado poseer un mejor comportamiento que el modelo PID clásico basado en el modelo linealizado, donde este modelo lineal sólo es válido en las proximidades del punto de equilibrio estudiado. Por otra parte, los tiempos

de respuesta del control Fuzzy son menores que los obtenidos con el control PID convencional.

El objetivo de este documento ha sido presentar el diseño de un levitador magnético basado en un controlador Fuzzy desde una perspectiva docente. De este modo se ha mostrado una posible actividad académica para asignaturas de control avanzado en itinerarios curriculares de Máster. Los resultados de la simulación en *Matlab/Simulink* avalan el éxito de la estrategia. Los objetivos iniciales planteados en el desarrollo del levitador han sido alcanzados de manera satisfactoria a lo largo del estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad de Zaragoza para el desarrollo del presente trabajo, a través del Programa de Innovación e Investigación Educativa (PIIDUZ 2019/20). Referencia: PIIDUZ_19_268.

REFERENCIAS

- [1] Galvao R., Yoneyama T., de Araujo F.M.U. and Machado R.G. (February 2003). "A simple technique for identifying a linearized model for a didactic magnetic levitation system". *IEEE Transactions on Education. IEEEExplore Digital Library*. Volume: 46, issue: 1; pp. 22 to 25. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1183663>
- [2] Naumovic M.B. (October 2003). "Modeling of a didactic magnetic levitation system for control education". 6th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service (TELSIKS2003). *IEEEExplore Digital Library*. 01-03 October. Glendale (Arizona); vol. 2 pp. 783 to 786. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1246339>
- [3] Kumar T., Shimi S.L., Karanjkar D. and Rana S. (March 2014). "Modeling, simulation and control of single actuator magnetic levitation system". *Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS2014)*. *IEEEExplore Digital Library*. 06-08 March 2014. Chandigarh (India); pp. 1 to 6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6799569>
- [4] Qiu H., Cao G.Z., Pan J.F. and Lin L.M. (May 2009). "The development of magnetic levitation ball control system based on TMS320F2812". *3rd International Conference Power Electronics Systems and Applications, PESA 2009*. *IEEEExplore Digital Library*. Hong Kong (China). 20/22 May 2009; pp. 1 to 4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5228594>
- [5] Shawki N., Alam S. and Gupta A.K.S. (October 2014). "Design and implementation of a magnetic levitation system using phase lead compensation technique". *9th International Forum on Strategic Technology (IFOST2014)*. *IEEEExplore Digital Library*. Cox's Bazar (Bangladesh); pp. 294 to 299. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6991125>
- [6] Jen-Hsing Li. (2013). "Robust output feedback stabilization of a field-sensed magnetic suspension system". *International Symposium on Industrial Electronics. IEEEExplore Digital Library*. 28/31 May, Taipei (Taiwan); pp. 1 to 6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6563710>
- [7] Ghosh A., Krishnan T.R., Tejaswary P., Mandal A., Pradhan J.K and Ranasingh S. (July 2014). "Design and implementation of a 2-DOF PID compensation for magnetic levitation systems". *ISA Transactions. The Journal of Automation. Elsevier ScienceDirect*. Volume 53, issue 4; pp. 1216 to 1222. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2014.05.015>
- [8] Suster P. and Jadlovská A. (January 2012). "Modeling and control design of Magnetic levitation system". *10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi2012)*. *IEEEExplore Digital Library*. Herl'any (Slovakia). 26/28 January 2012; pp. 295 to 299. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6208976>
- [9] Ahmad I., Shahzad M. and Palensky P. (2014). "Optimal PID control of Magnetic Levitation System using Genetic Algorithm". *IEEE International Energy Conference (ENERGY-CON)*. *IEEEExplore Digital Library*. 13/16 May 2014, Cavtat (Croatia); pp. 1429 to 1433. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6850610>
- [10] Zhao Shi-tie and Gao Xian-wen (June 2014). "Neural network adaptive state feedback control of a magnetic levitation system". *26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*. *IEEEExplore Digital Library*. 02 June 2014. Changsha; pp. 1602 to 1605.

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/6852423>
- [11] Huann-Keng C., Chun-Chiang F., Wen-Bin L. and Guan-Wei C. (May 2011). "Second-order sliding mode control for a magnetic levitation system". *8th Asian Control Conference (ASCC)*. *IEEEExplore Digital Library*. 15-18 May 2011, Kaohsiung (Taiwan); pp. 602 to 607. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5899140>
- [12] Bächle T., Hentzelt and Graichen K. (September 2013). "Nonlinear model predictive control of a magnetic levitation system". *Control Engineering Practice*. *Elsevier ScienceDirect*. Volume 21, issue 9; pp. 1250 to 1258. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2013.04.009>
- [13] Hernández-Casañas J.J., Márquez-Vera M.A. and Balderrama-Hernández B.D. (September 2016). "Characterization and adaptive fuzzy model reference control for a magnetic levitation system". *Alexandria Engineering Journal*. *Elsevier ScienceDirect*. Volume 55, issue 3, September 2016; pp. 2597 to 2607. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.04.032>
- [14] T.H. Luat, J.H. Cho, Y.T. Kim (2014), "Fuzzy-tuning PID controller for nonlinear electromagnetic levitation system". In: Kim S., Jung J.W., Kubota N. (eds) *SoftComputing in Intelligent Control, Series Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 272, Springer International Publishing, pp. 17–28. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05570-1_3
- [15] Cerman O. (September 2013). "Fuzzy model reference control with adaptation mechanism". *Expert Systems with Applications*. *Elsevier ScienceDirect*. Vol. 40, nº 13; pp. 5181 to 5187. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.03.014>
- [16] Golob M. and Tovornik B. (January 2003). "Modeling and control of the magnetic suspension system". *ISA Transactions. The Journal of Automation*. *Elsevier ScienceDirect*. Volume 42, issue 1; pp. 89 to 100. [https://doi.org/10.1016/S0019-0578\(07\)60116-5](https://doi.org/10.1016/S0019-0578(07)60116-5)
- [17] Benomair A.M., Firdaus A.R. and Tokhi M.O. (2016). "Fuzzy sliding control with non-linear observer for magnetic levitation systems". *24th Mediterranean Conference on Control and Automation*. *IEEEExplore Digital Library*. 21-24 June 2016, Athens (Greece); pp. 256 to 261. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7536025>
- [18] Unni A.C., Junghare A.S., Mohan V. and Ongsakul W. (2016). "PID, fuzzy and LQR controllers for magnetic levitation system". *International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy (ICUE)*. *IEEEExplore Digital Library*. September 2016, Bangkok (Thailand); pp. 1 to 5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7728977>
- [19] Baranowski J. and Piatek P. (September 2008). "Nonlinear dynamical feedback for motion control of magnetic levitation system". *Conference Power Electronics and Motion Control EPE-PEMC*. *IEEEExplore Digital Library*. Poznan (Poland); pp. 1446 to 1453. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4635471>
- [20] Hurley W.G., Hynes M. and Wolffe W.H. (May 2004). "PWM control of a magnetic suspension system". *IEEE Transactions on Education*. *IEEEExplore Digital Library*. Volume: 47, issue: 2 2012; pp. 165 to 173. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1296775>
- [21] Suryawan F., De Dona J. and Seron M. (June 2010). "Methods for trajectory generation in a magnetic-levitation system under constraints". *18th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED2010)*. *IEEEExplore Digital Library*. Marrakech (Morocco); pp. 945 to 950. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1296775>



Session TS-3B

Electronics II

Regulated Power Supply with High Power Factor for Hyperspectral Imaging Applications

Jose Cabrera, Noemi Falcon, Aythami Yanez, Samuel Ortega, Raquel Leon, Himar Fabelo, Gustavo M. Callico

Institute for Applied Microelectronics (IUMA)

University of Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

Las Palmas de Gran Canaria, Spain

jcabrera@iuma.ulpgc.es, jose.yanez102@alu.ulpgc.es, noemi.falcon101@alu.ulpgc.es, sortega@iuma.ulpgc.es, smartin@iuma.ulpgc.es,
hfabelo@iuma.ulpgc.es, gustavo@iuma.ulpgc.es

Abstract— In Bachelor and Master's Thesis, it is highly advisable to involve students in research projects. Additionally, project-based approaches where several final degree theses are related could encourage the motivation of students. Especially in STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) subjects, this divide-and-conquer strategy could lead in skills improvements of students in different, but related, fields. In this manuscript, we present the development of a controlled and highly stable power supply to be used as excitation of the light source of a hyperspectral imaging system.

Keywords— *Control systems, Power electronics, Hyperspectral imaging, Bachelor teaching, Linear Power Supply*

Módulo con microcontrolador compatible con Arduino para prácticas de electrónica y monitorización ambiental

Javier Diz-Bugarín
Dep. Electrónica
IES Escolas Proval
Nigrán, España
javier.diz@edu.xunta.gal

Rafael Rodríguez-Paz
Dep. Tecnología
IES Alexandre Bóveda
Vigo, España
rafar.paz@edu.xunta.gal

Abstract—Los módulos Arduino son muy útiles para la enseñanza de electrónica y programación en los ciclos de formación profesional, pero su uso masivo puede desincentivar el aprendizaje de técnicas de desarrollo de hardware por parte de los estudiantes. Nuestra propuesta consiste en una placa con microcontrolador compatible con Arduino diseñada en el IES Escolas Proval de Nigrán (España) que puede ser ensamblada por los estudiantes y sirve como punto de partida para nuevos proyectos que combinan hardware y software. Durante los últimos cursos hemos realizado diferentes aplicaciones, como prototipos robóticos o controles remotos, y está previsto un nuevo módulo de sensores para la estación meteorológica automática del instituto así como otras aplicaciones ambientales.

Keywords—Microcontrollers, Arduino, Sensors, Vocational Training.

I. INTRODUCCIÓN

El uso del sistema Arduino para la enseñanza de la electrónica tiene muchas ventajas, como la amplia disponibilidad de recursos de hardware y software, su costo reducido o su adaptación a diferentes niveles educativos. Sin embargo, esta simplicidad puede disuadir a los estudiantes de hacer diseños "desde cero", reduciendo la capacidad de innovación de los futuros técnicos.

Para compensar esta situación en el IES Escolas Proval de Nigrán (Pontevedra, España), hemos desarrollado nuestro propio sistema de hardware compatible con el entorno de desarrollo de Arduino, que los estudiantes deben analizar y construir durante el primer curso de los ciclos de formación profesional "Mantenimiento Electrónico" o "Sistemas de Telecomunicación e Informáticos". Anteriormente disponíamos de un sistema similar basado en la serie AT89 de Atmel que ya fue presentada en el Congreso TAAE 2012 [1].

El sistema (Fig. 1) se basa en un microcontrolador Atmega328P, uno de los más ampliamente utilizados en Arduino, que está disponible en formato dip y también smd para aplicaciones más especializadas. La placa principal del sistema incluye el microcontrolador con una fuente de alimentación que admite un amplio rango de tensiones de entrada, un conjunto de conectores de expansión, un led y un altavoz piezoeléctrico. Como periféricos iniciales, hemos diseñado una placa con pulsadores y leds smd (que permite realizar una gran cantidad de prácticas digitales básicas) y una placa de interfaz USB-serie basada en el integrado FT232R de FTDI. Esta placa es compatible con muchos adaptadores comerciales de bajo costo (como los de Sparkfun), que se pueden comprar para evitar la dificultad de soldadura de componentes SSOP o QFN.

Las placas de circuito impreso han sido diseñadas utilizando Kicad con un trazado de pistas que facilita su construcción por los estudiantes aunque también pueden enviarse a un fabricante externo, siendo también adecuadas para niveles menos especializados como ESO o Bachillerato. Los estudiantes aprenden a programar utilizando los recursos existentes para el entorno Arduino, pero también deben desarrollar programas específicos para su propio hardware, lo que fomenta su proceso de aprendizaje y evita la tentación de reutilizar el código existente.

Este sistema ha sido probado con éxito en los últimos dos cursos académicos (2018-2019 y 2019-2020), durante los cuales se han desarrollado numerosos proyectos. Está previsto utilizarlo para actualizar la estación meteorológica del instituto, un proyecto que incluye sensores, comunicaciones por radio, redes y desarrollo web.

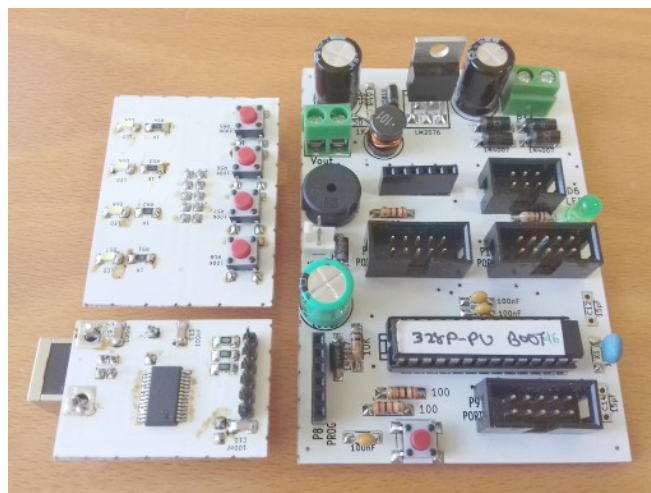


Fig. 1. Conjunto básico de placas de nuestro sistema compatible con Arduino.

II. DISEÑO DEL SISTEMA

A. Objetivos

- El objetivo principal del proyecto es crear una placa de microcontrolador compatible con el entorno de desarrollo Arduino.
- El diseño resultante estará disponible para los estudiantes o cualquier persona interesada y se podrá modificar libremente para otros fines.
- Está previsto crear un conjunto de periféricos para diferentes aplicaciones (visualizadores, sensores, motores, etc.).

- Se podrán reutilizar otros módulos hardware existentes para Arduino.
- Este sistema permitirá que los estudiantes creen sus propios desarrollos con microcontroladores a partir de la experiencia adquirida en el diseño y montaje de las placas para robótica, domótica y muchas otras aplicaciones.

B. Placa de Control

La placa de control ha sido diseñada para ser totalmente compatible con el entorno Arduino. Sus características principales son:

- Diseño inspirado en la placa Sparkfun Arduino Pro-Mini [2]. Esta placa tiene un conector de 6 pines para un adaptador USB-serie externo con un circuito FTDI FT232R [3] o compatible. Hemos optado por no incluir el adaptador USB en la placa de control porque los encapsulados SSOP o QFN son demasiado difíciles de soldar para estudiantes poco experimentados. Además, el adaptador usb solo se usa para la transferencia de programas o en aplicaciones que envían o reciben datos.
- El diseño de la placa de circuito impreso se ha hecho lo suficientemente simple como para que puedan hacerlo los propios estudiantes en los talleres de fotolitografía del instituto o enviarlo a un proveedor externo.
- Utiliza un microcontrolador Atmel Atmega328P-PU con encapsulado PDIP28 para permitir una fácil sustitución o extraerlo para otras aplicaciones.
- Fuente de alimentación conmutada con regulador LM2576 [4] o LM2596. Esta fuente de alimentación permite una amplia gama de tensiones de entrada (9-24 V en continua o alterna) y proporciona suficiente potencia para aplicaciones más exigentes como motores pequeños o visualizadores led. Su alta eficiencia la hace adecuada para su uso en sistemas alimentados por batería. El circuito impreso de la fuente de alimentación puede separarse de la placa de control y reutilizarse para otras aplicaciones o prácticas de electrónica.
- La placa de control incluye tres conectores IDC10 para añadir periféricos externos. Este tipo de conectores permiten una conexión o desconexión rápida de módulos pero también realizar montajes permanentes con una buena unión mecánica y eléctrica. Cada conector está dedicado a uno de los puertos hardware del microcontrolador (PORTB, PORTC y PORTD) e incluye también pines GND y VCC. Al planificar las conexiones debe tenerse en cuenta que dos pines de PORTB se usan también para el oscilador y un pin de PORTC se usa para el reinicio del microcontrolador.
- La placa lleva un conector externo para entrada directa de alimentación (fuente de 5V o pack de baterías de 3-6V). Esta entrada no tiene circuito regulador, por lo que los límites de tensión deben respetarse estrictamente.
- La placa incluye un diodo LED y un zumbador piezoeléctrico conectado a los pines Arduino D13 y D10. Estos dos periféricos se pueden usar con fines de prueba o para aplicaciones simples.

- Conector SPI IDC6 para periféricos serie y programación de circuitos externos. La placa también tiene un conector ISP que permite programar directamente el microcontrolador sin usar el IDE Arduino. En este caso se necesita además un programador externo.

Las figuras 2 y 3 muestran los esquemas de la fuente de alimentación y la placa de control. La figura 4. muestra el aspecto final de la placa de control una vez montados los componentes.

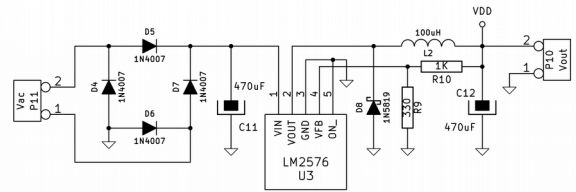


Fig. 2. Esquema de la fuente de alimentación conmutada

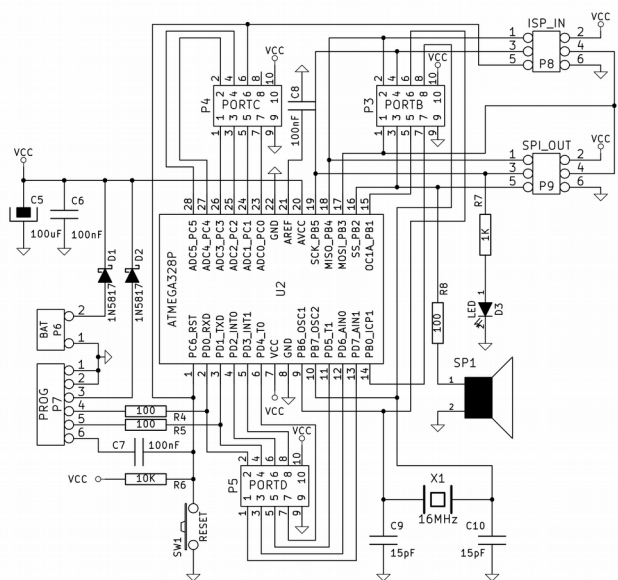


Fig. 3. Esquema de la placa de control

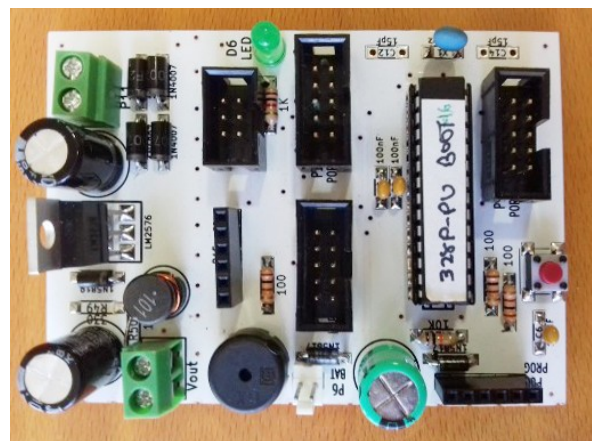


Fig. 4. Aspecto final de la placa de control

C. Placa de interfaz USB

La placa de interfaz USB-serie es una actualización del diseño anterior hecho para nuestro sistema AT89 [1]. El conector de salida se ha cambiado para cumplir con las especificaciones de la placa Arduino Pro-Mini.

La placa de interfaz se basa en un circuito integrado FT232R de FTDI. Este circuito se mantiene en producción desde 2005 y el fabricante proporciona controladores gratuitos para todos los sistemas operativos. El tamaño del encapsulado SSOP28 (o QFN) dificulta su montaje pero es una buena práctica introductoria de soldadura SMD para estudiantes de electrónica.

Actualmente hay alternativas más baratas del mismo fabricante (FT231X) u otros, como el circuito CP2102 (Silabs), PL2303 (Prolific) o CH340 (WCH). En el mercado hay muchos módulos con estos circuitos que pueden adquirirse para evitar la dificultad de soldar componentes pequeños. Estamos planeando hacer un nuevo diseño basado en el integrado FT231X que sea más barato y fácil de ensamblar.

La figura 5 muestra el esquema de nuestra placa de interfaz serie USB.

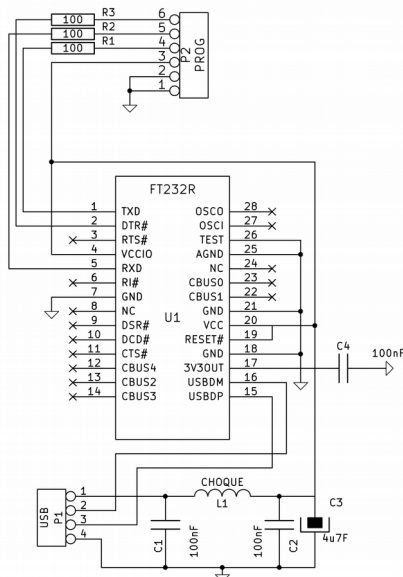


Fig. 5. Esquema de la placa de interfaz USB-serie

D. Placa de pulsadores y diodos led

Esta placa tiene cuatro diodos led smd y cuatro pulsadores miniatura. El módulo resultante es pequeño y sencillo, pero se puede usar como teclado y visualizador básico en muchos ejemplos de aplicación.

Los diodos led son del tipo Osram Duris E3 [5] y llevan resistencias smd de 1K en serie. Los encapsulados 3216 de las resistencias smd y PLCC2 de los diodos led son lo suficientemente grandes como para que los estudiantes puedan soldarlas fácilmente con un soldador normal. Los pulsadores están conectados a masa y tienen resistencias pull-up de 100K. La conexión a la placa principal se realiza mediante un conector IDC10. La placa ha sido diseñada con el conector y el cable plano en el lado opuesto de los leds y los botones para que pueda usarse como panel de control en un proyecto real.

Como comparación, las placas Arduino comunes llevan un único diodo led y ningún pulsador. Nuestra placa se puede utilizar para simular muchas prácticas y circuitos básicos de electrónica digital con varias entradas y salidas como puertas lógicas, flip-flops, monoestables o decodificadores mediante programas simples de Arduino que sirven para iniciar a los estudiantes en las técnicas de programación.

La figura 6 muestra el esquema de la placa de leds y pulsadores y la figura 7 muestra el módulo ensamblado.

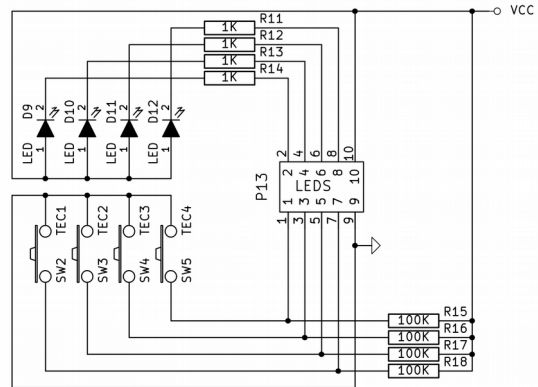


Fig. 6. Esquema de la placa de pulsadores y diodos led

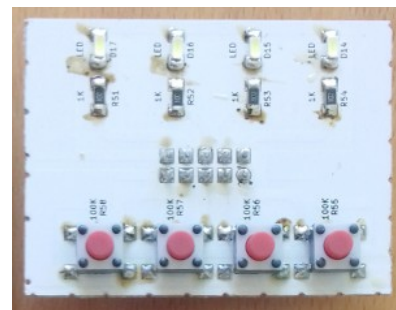


Fig. 7. Módulo completo de leds y pulsadores

E. Otros periféricos

Hemos previsto el diseño de un conjunto completo de periféricos, aunque en muchos casos ya hay placas comerciales que también se pueden adaptar a nuestro sistema. Ya hemos hecho algunos de ellos, como un visualizador cuádruple de 7 segmentos o un módulo LCD, y otros están actualmente en desarrollo, como una placa de interfaz I2C o una placa controladora de motores. Algunos de los módulos son:

1) VISUALIZADORES

- Visualizador estático cuádruple de 7 segmentos con registros de desplazamiento 74595 [6]. Esta placa se diseñó originalmente para un medidor de tensión y corriente de una fuente de alimentación de laboratorio, pero tiene muchas otras aplicaciones y se puede programar para mostrar números y algunos textos simples. Las entradas y salidas de datos de los registros de desplazamiento están interconectadas para permitir que una entrada en serie común envíe datos a todos los circuitos incluso entre varias placas sucesivas. Una entrada PWM sirve para controlar el

consumo total de la placa y para regular la intensidad de la luz de los visualizadores. La figura 8 muestra el esquema de la placa.

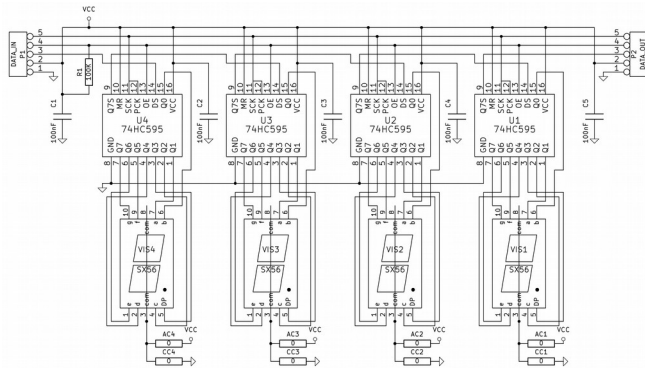


Fig. 8. Visualizador cuádruple de 7 segmentos con registros de desplazamiento 74595

- Módulo LCD monocromo 2x16 con 4 pulsadores. Los pulsadores están conectados a un registro 74573 para aislarlos de las líneas de control del lcd. Este módulo está destinado a ser una interfaz de propósito general con funciones de navegación a través de menús, selección de parámetros para control domótico u otros usos. Este módulo ha sido diseñado para ser compatible con la biblioteca LiquidCrystal del entorno Arduino. La fig. 9 muestra el esquema de la placa.

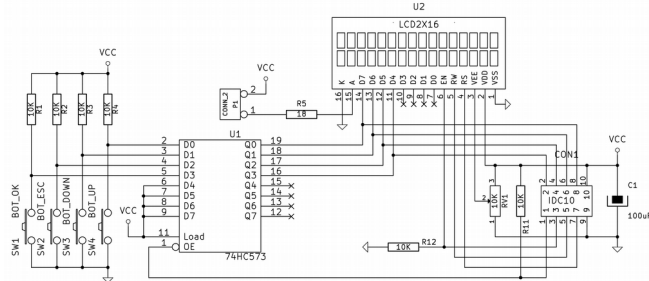


Fig. 9. Esquema del módulo LCD con pulsadores incorporados

2) CONTROL DE MOTORES

- Módulo de control para dos motores unipolares de 4 fases con circuito ULN2804A [7]. Este módulo fue concebido inicialmente como parte de un proyecto de robótica y puede controlar dos motores o un máximo de ocho cargas externas con una sola matriz Darlington. La fig. 11.b muestra el esquema de la placa.
- Módulo de control para dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar con circuito DRV8833 [8]. Este tipo de circuitos se utilizan ampliamente en aplicaciones como impresoras 3D o máquinas CNC. Estamos planeando hacer una placa con dos módulos comerciales para controlar dos o cuatro motores de CC para proyectos de robótica. El módulo se puede controlar utilizando la función `PWM analogWrite()` o bibliotecas específicas de motores paso a paso.

3) COMUNICACIONES

- Módulo de expansión I2C con circuito integrado MCP23008 de Microchip [9]. Este circuito es una

interfaz I2C completa con ocho pines digitales que se pueden programar como entradas o salidas. También hay una versión con 16 pines de E/S (MCP23017). Estos circuitos son una buena alternativa para reemplazar modelos anteriores como el PCF8574 con la ventaja de que se pueden adquirir en versiones SPI o I2C, y Arduino proporciona bibliotecas para aplicaciones como control de visualizadores LCD y otras. La fig. 10 muestra el esquema de esta placa.

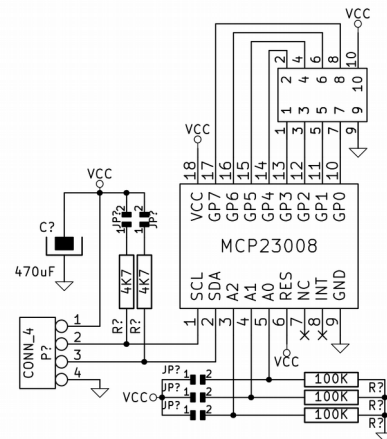


Fig. 10. Esquema del módulo de expansión I2C con MCP23008

- Módulo RF 433/868MHz para comunicaciones o control remoto con circuitos híbridos ASK o FSK de RfSolutions como los RTFQ1/RRFQ1 [10].
- Transmisores y receptores infrarrojos para control remoto y domótica con diodos led y receptores integrados como el TSOP38238 [11].

4) ROBÓTICA

- Módulo de fotosensores y diodos led. Hemos realizado un módulo con tres fotosensores para mejorar la detección de líneas y obstáculos. Los sensores están conectados a entradas analógicas del microcontrolador y pueden calibrarse para una mejor adaptación a diferentes niveles de luz externa. En el mercado hay muchos sensores compactos como los TCRT5000, CNY70 o QRD1114, pero en este caso hemos optado por utilizar diodos led y fototransistores separados. Así es posible modificar sus posiciones y distancias en la placa de circuito impreso para mejorar la detección. Los leds y los fototransistores pueden ser visibles (como los SFH-309-5/6, Vishay TLHA44R1S2) o infrarrojos (SFH310-FA-2/3, Kingbright L-34F3BT). La fig. 11.a muestra el esquema del módulo de fotosensores y la figura 12 muestra el aspecto final del módulo.
- Teclado analógico con pulsadores y resistencias. Este módulo se ha utilizado en proyectos de robótica para conectar varios pulsadores botones a una sola entrada analógica del microcontrolador Atmega328P.

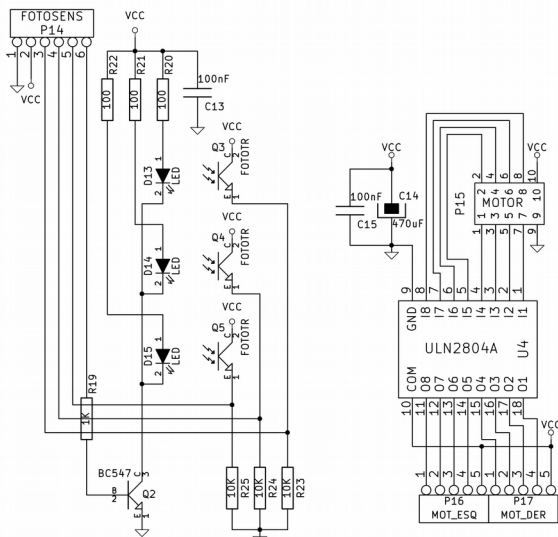


Fig. 11. a) Módulo con triple fotosensor y b) control de motores para robótica

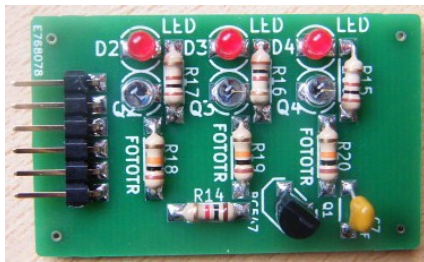


Fig. 12. Módulo de fotosensores ensamblado

III. APLICACIONES DEL SISTEMA

A. Prácticas y proyectos de Electrónica

Este sistema puede emplearse para la simulación de circuitos electrónicos básicos. Ya hemos elaborado un conjunto de programas que simulan puertas lógicas, biestables, monoestables o decodificadores. Las prácticas se pueden hacer usando la placa de leds y botones para simular las entradas y salidas o extrayendo el microcontrolador de la placa de control e insertándolo en una protoboard o entrenador electrónico como si fuera un circuito digital autónomo (Fig. 13). En este caso, se recomienda utilizar el oscilador interno de 8 MHz para evitar tener que añadir un cristal o resonador externo.

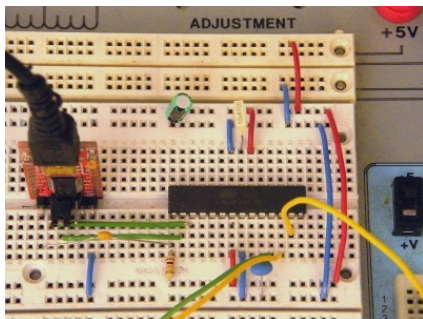


Fig. 13. Uso del microcontrolador programado como un circuito digital

Otro ejemplo de aplicación es un transmisor de radiofrecuencia de 433 MHz compatible con receptores comerciales de código fijo. Los estudiantes pueden desarrollar su propio pcb y montar el microcontrolador, el

módulo de radio y la batería (Fig. 14). El microcontrolador puede configurarse para usar el oscilador interno de 8 MHz para reducir el número de componentes. El programa se ha realizado utilizando la biblioteca *RCSwitch* de Arduino que incluye los códigos de transmisión más comunes y simplifica enormemente la programación.

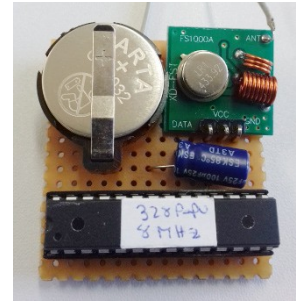


Fig. 14. Control remoto RF programado con la biblioteca RCSwitch

B. Robótica

Una versión modificada de nuestro sistema se ha utilizado en un desarrollo robótico realizado con fines educativos. Se ha combinado en una sola placa el microcontrolador, un teclado analógico y un circuito ULN2804 que controla dos motores paso a paso unipolares. Esta placa se ha adaptado a un pequeño robot llamado 'Escornabot' [12], un proyecto abierto de hardware y software iniciado en 2014 por un grupo de profesores y voluntarios de Galicia (España).

El Escornabot no tiene versión comercial, para construirlo es necesario imprimir las piezas, soldar los componentes electrónicos, ensamblar todas las piezas y programar el código en la placa del microcontrolador. Toda la información y los esquemas están en la página web del proyecto y hay guías de montaje para ayudar en el proceso. También hay foros para usuarios y desarrolladores.

Se han propuesto algunas mejoras a este robot como resultado de un grupo de trabajo que tuvo lugar en 2016 en el IES Alexandre Bóveda (Vigo). En particular, el diseño de una placa de sensores que incluye tres diodos y fototransistores led que le dan capacidades de detección al robot, útil para el seguimiento de líneas o la detección de obstáculos (Fig. 15).

Durante los últimos cursos académicos en el IES Alexandre Bóveda de Vigo se han montado un gran número de unidades de este prototipo y realizado numerosas experiencias prácticas en la asignatura de robótica. Experiencias similares se han realizado en el IES Escolas Proval (Nigrán, España) como prácticas de microprogramación y diseño electrónico y en exposiciones didácticas para promover las vocaciones STEM entre estudiantes de otros niveles educativos.

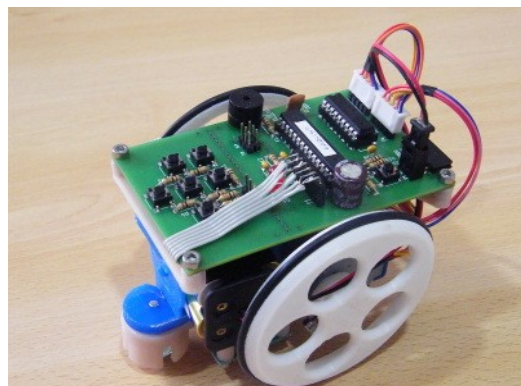


Fig. 15. Escornabot modificado con módulo de fotosensores

C. Monitorización ambiental

Los sistemas basados en Arduino han simplificado enormemente el desarrollo de hardware y software de proyectos con sensores, ya que existen numerosos módulos comerciales y ejemplos de código disponibles en la comunidad. Gracias a ellos hemos abordado un proyecto de actualización de la estación meteorológica [13] del IES Escuelas Proval que sustituirá la arquitectura actual Atmel AT89 por un sistema Atmega328. La estación meteorológica está compuesta por un módulo transmisor alimentado por energía solar que lee los sensores y transmite información a un receptor con conexión ethernet que envía datos a una página web. Los sensores actualmente empleados como el sensor barométrico analógico MPXA6115A o el sensor de temperatura SHT15 serán sustituidos por nuevos modelos como el BMP180 y el SHT31 que proporcionarán una mejor precisión. Se utilizará la biblioteca Arduino *LowPower* para reducir el consumo de energía del módulo remoto, y también se podrá reducir la frecuencia del oscilador y la tensión de alimentación. En el módulo receptor, la conexión de red se simplifica mediante la utilización de la bibliotecas Arduino Ethernet y los numerosos módulos hardware existentes.

Otro proyecto futuro es un módulo de monitorización ambiental que lee los niveles de temperatura, humedad y dióxido de carbono en las aulas del instituto (o cualquier otro tipo de edificio) y transmite información a una base de datos remota para ayudar a determinar la calidad del aire y controlar la ventilación cuando sea necesario.

IV. IMPACTO ACADÉMICO DEL PROYECTO

Nuestro proyecto ha sido llevado a las aulas durante los cursos académicos 2018-19 y 2019-20. En el primer curso, el montaje de las placas se realizó entre el final del primer trimestre y el comienzo del segundo (diciembre-enero). Las placas comenzaron a utilizarse para prácticas de programación en el segundo trimestre y en la última parte del curso los estudiantes comenzaron a desarrollar sus propios proyectos. Llegaron a completarse algunas aplicaciones interesantes: uno de los estudiantes hizo su propia placa de sensores ópticos y un pequeño robot para participar en la V Competición de Robótica celebrada en la Universidad de Vigo. No ganó ningún premio pero sí un enorme bagaje de conocimiento.

Otro estudiante montó un receptor de control remoto utilizando como transmisor un mando a distancia comercial. Para la programación utilizó la biblioteca Arduino *IRRemote*. Inicialmente tuvo varios errores de diseño (el microcontrolador carecía de conexiones de alimentación, el resonador cerámico no estaba conectado a masa). Otros errores se resolvieron mediante software, como la conexión de los diodos led a masa en lugar de 5V.

Otro proyecto realizado por los alumnos fue un medidor de temperatura y humedad relativa con sensor SHT11 y visualizador LCD. En este caso hubo algunos errores en la configuración de las líneas de control del visualizador. Este tipo de problemas de hardware nunca se producen en sistemas simulados o comerciales, y nuestros estudiantes obtuvieron una valiosa experiencia aprendiendo a resolverlos.

El segundo curso 2019-20 la implementación en aula ha sufrido una profunda distorsión debida a la pandemia Covid-19. En el segundo trimestre se ha realizado el montaje de las placas y pudimos explicar los conceptos básicos del lenguaje C para microcontroladores Arduino, pero el 13 de marzo se produjo la suspensión de clases y pasamos a un nuevo modelo de "enseñanza remota de emergencia" [14].

Afortunadamente, casi todos los estudiantes habían terminado las placas y pudieron llevárselas a casa para continuar con las actividades lectivas. Algunas de las prácticas que incluían elementos de hardware como motores o sensores se cambiaron y simplificaron para permitir su realización. Pero la mayoría de las actividades se pudieron completar utilizando la placa de leds y pulsadores y un par de cables IDC.

En el momento presente el curso está terminando y a pesar de las dificultades hemos podido trabajar con cierta normalidad. Los estudiantes han podido realizar muchas de las tareas previstas y algunos de ellos incluso están comenzando proyectos más complejos que continuarán en el próximo curso. Nuestro sistema ha demostrado su potencial para el aprendizaje remoto, especialmente en el caso de estudiantes adultos que trabajan o tienen responsabilidades familiares.

También esperamos que estas experiencias sirvan para promover vocaciones STEM entre los estudiantes de formación profesional, alentándolos a ir a la universidad o emprender sus propios negocios, aunque es pronto para obtener conclusiones sobre estos puntos.

V. CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado un sistema con microcontrolador compatible con Arduino para la enseñanza de electrónica y programación en formación profesional.

Las placas de circuito impreso han sido diseñadas por los propios profesores y alumnos y pueden construirse en el instituto o enviarse a un fabricante externo.

Este sistema actualiza un diseño anterior realizado con microcontroladores Atmel AT89 manteniendo la compatibilidad con los módulos desarrollados para ese sistema, pero permitiendo la utilización de módulos comerciales hechos para Arduino.

Nuestro sistema ha demostrado ser útil para aprender técnicas de desarrollo de hardware así como programación de microcontroladores y motiva a los estudiantes a crear sus propios diseños.

Como ejemplos de aplicaciones, hemos presentado mandos a distancia, prototipos robóticos y un nuevo proyecto de estación meteorológica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los estudiantes y profesores del IES Escuelas Proval (Nigrán, España) que colaboraron en las diferentes etapas de desarrollo de este proyecto, en particular a los estudiantes de los cursos 2008-19 y 2019-20 del Ciclo Superior de Formación Profesional Mantenimiento Electrónico, y a los profesores y estudiantes de Tecnología y Robótica del IES Alexandre Bóveda (Vigo, España).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Diz, J., García, F., Domínguez, J., "Modular architecture with microcontroller for advanced electronic practices", TAE 2012, Vigo, Spain, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6235415>
- [2] Arduino Pro-Mini Sparkfun ou arduino.cc <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini> [visited Mar 15, 2020].
- [3] FTDI FT232R: <https://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm> [visited Mar 15, 2020].

- [4] LM2576 <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [5] Osram E3 DURIS led datasheet [https://dammedia.osram.info/media/resource/hi-res/osram-dam-10679689/GW%20JCLPS2.CM%20\(GEN%202\)_EN.pdf](https://dammedia.osram.info/media/resource/hi-res/osram-dam-10679689/GW%20JCLPS2.CM%20(GEN%202)_EN.pdf) [visited Mar 15, 2020].
- [6] 74595 shift register ONSEMI: datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC74HC595-D.PDF> [visited Mar 15, 2020].
- [7] ULN2804A Eight Darlington Array Integrated Circuit: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/uln2804a.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [8] DRV8833 Dual H-Bridge Motor Driver datasheet: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8833.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [9] MCP23008 8bit I/O Expander with I2C Interface datasheet. <https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21919e.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [10] RRFQ1/RTFQ1 FM Transmitter-Receiver Hybrid Modules datasheet: <https://www.rfsolutions.co.uk/downloads/1456161130DS-FM-R-FQ.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [11] TSOP38238 IR Receiver Modules for Remote Control Systems datasheet: <https://www.vishay.com/docs/82491/tsop382.pdf> [visited Mar 15, 2020].
- [12] Escornabot Project: <http://escornabot.com/web/en> [visited Mar 15, 2020].
- [13] Diz, J., García, J. F., Darriba, J., Rodríguez, S., “El proyecto de estación meteorológica automática del IES Escolas Proval”, CIES 2008, Vigo, Spain, http://proval.meteoproval.es/wp-content/uploads/2018/02/233_11_CIES2008_cas_cor.pdf
- [14] Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., Bond, A., “The Difference Between Emergency Remote Teaching and Online Learning”, Educause Review, 2020, <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning> [visited May 28, 2020].

Experiential Learning through “Tangible” Lab Assignments for an Undergraduate Course in Electrical Circuits-I

Atousa Hajshirmohammadi
School of Engineering Science
Simon Fraser University
Burnaby, BC, Canada
atousah@sfu.ca

Zhendong Cao
EIM Technology
Delta, BC, Canada
zhendong_cao@sfu.ca

Ling Zhu
Langara College
Vancouver, BC, Canada
zhulingz@sfu.ca

Abstract— “Experiential learning” as a method of delivering course material is well recognized at all levels of education including higher education. This project aims at introducing several laboratory experiments in a second-year engineering course in Electrical Circuits-I. These new experiments have light and sound as their input/output variables and thus referred to as “tangible labs”. The goal is to increase students’ engagement in the course and enhance their understanding of the electrical circuit concepts by allowing them to observe the operation of electrical circuits in a more tangible form. These experiments are designed to complement the existing laboratory experiments which are conventionally adopted in electrical circuit courses.

Keywords—*Engineering education, Electronics education, Experiential learning, Electrical circuit laboratory, Student engagement*

Una metodología mejorada para las sesiones básicas de laboratorio eléctrico y de instrumentación

Noemí Pérez¹, Ainhoa Rezola¹, Damián Caballero², José Francisco Macayo¹ y Héctor Solar¹

¹Dept. of Electrical and Electronic Engineering, University of Navarra, TECNUN, San Sebastian, Spain

²Transport and Energy Division, University of Navarra, CEIT, San Sebastian, Spain

Abstract— Los alumnos de primer año muestran dificultades para entender conceptos básicos de electricidad, instrumentación y electrónica. En este contexto, los alumnos consideran que el trabajo tradicional de nuestro laboratorio de electricidad y electrónica está anticuado y no les resulta útil para entender conceptos abstractos. En este trabajo presentamos la mejora de una práctica tradicional de instrumentación con una plataforma visual interactiva que permite que los alumnos asocien conceptos de electricidad básica con elementos de la vida real. Además, se han realizado vídeos auto explicativos de los elementos de instrumentación presentes en el laboratorio para que los alumnos los vean antes de las sesiones prácticas y también para que puedan obtener una ayuda inmediata a demanda mientras están en el laboratorio.

Index Terms— Electricidad, instrumentación, docencia de grado, flipped learning

I. INTRODUCCIÓN

Esta práctica se desarrolla en el marco de la asignatura “Física”, que se imparte en el primer curso de todos los grados en ingeniería ofrecidos por Tecnun, Universidad de Navarra. El objetivo de este trabajo es presentar a los alumnos de primer año los conceptos de resistencia, tensión, corriente y potencia utilizando elementos con los que están familiarizados. Además, aprenderán a manejar distintos equipos de medida utilizando la estrategia de flipped learning [1].

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Los autores han desarrollado una plataforma con cuatro elementos pasivos que los alumnos tienen que alimentar y caracterizar midiendo la caída de tensión y el consumo de corriente en cada uno de ellos. Todos los elementos se alimentan con 12 V DC a través de un transformador que convierte 220 V AC en 12 V AC. Esta tensión se rectifica a través de un rectificador de onda completa que incorpora un puente de diodos. Este montaje secundario nos da la oportunidad de estudiar señales AC en el osciloscopio, explicar la transformación de AC a DC y el explicar el principio de funcionamiento de un diodo. Los cuatro elementos pasivos son una resistencia, una lámpara halógena, una lámpara LED y un ventilador. El sistema de alimentación tiene un interruptor magnetotérmico que da la oportunidad de explicar gráficamente el concepto de potencia consumida. Después de caracterizar todos los componentes pasivos, los estudiantes conectan todos los elementos a la vez y producen una sobrecarga en el sistema. Se les pide que conecten el elemento con el mayor consumo a un panel solar que aporta la potencia extra que se necesita. Antes de la clase práctica, los estudiantes tienen que ver varios vídeos en los que se explica el funcionamiento de un generador de señal, un osciloscopio y un multímetro. Además, todos los instrumentos del laboratorio tienen un código QR que lleva a los alumnos a vídeos descriptivos en los que pueden encontrar ayuda a demanda para realizar medidas de corriente y tensión con un multímetro o de frecuencia con el osciloscopio, entre otros.

III. RESULTADOS

Es más sencillo y efectivo explicar conceptos complejos utilizando elementos de la vida diaria. Además, está comprobado que el procesamiento de información fuera de clase mejora tanto el progreso académico de los alumnos como su motivación.

REFERENCIAS

Raúl Santiago, Jon Bergmann, “Aprender al revés. Flipped learning 3.0 y metodologías activas en el aula”, Barcelona : Paidós, 2018

Iniciando “flipped classroom” con iPad y Apple Pencil en el Curso de Electrónica Analógica

Diego Sales-Lerida

Dept. Ingeniería Sistemas y Electrónica
Universidad de Cádiz
Cádiz, Spain
diego.lerida@uca.es

José María Guerrero-Rodríguez

Dept. Ingeniería Sistemas y Electrónica
Universidad de Cádiz
Cádiz, Spain
josem.guerrero@uca.es

Clemente Cobos-Sánchez

Dept. Ingeniería Sistemas y Electrónica
Universidad de Cádiz
Cádiz, Spain
clemente.cobos@uca.es

Pedro Manuel Martínez-Jiménez

Dept. Ingeniería Sistemas y Electrónica
Universidad de Cádiz
Cádiz, Spain
pedromanuel.martinez@uca.es

Abstract— El presente trabajo describe varias metodologías llevadas a cabo para la enseñanza básica de clases invertidas o “flipped classroom” aplicadas a la asignatura de electrónica analógica. En este aspecto, se describen las pautas que se han llevado a cabo para la adaptación a este tipo de enseñanza, así como la tecnología empleada, tanto en el aula como en el aprendizaje a distancia, para la creación de contenido docente de forma escrita y audiovisual. Para conocer el grado de éxito del nuevo enfoque sugerido, se han realizado consultas de satisfacción a los alumnos, así como un estudio comparativo de las calificaciones obtenidas en el curso actual con respecto al curso anterior.

Keywords— *Teaching with iPad, Flipped classroom, electrónica analógica, contenido audiovisual, innovación docente*

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo se viene debatiendo sobre la mejor forma de impartir clases y la apuesta de nuevos métodos de enseñanza en detrimento del método tradicional de aula-profesor y trabajo o estudio del alumno en casa. Todo ello es consecuencia, en parte, del gran avance tecnológico en los últimos años, tanto de dispositivos móviles o tabletas electrónicas como del incremento exponencial de plataformas virtuales, de pago o no. Todos esos nuevos medios están facilitando la edición, alojamiento y discusión de contenido online, ya sean textos, presentaciones, vídeos, etc., donde el alumno puede aprender de forma autónoma, sin necesidad de acudir a un aula.

El término relacionado con la impartición de materias a distancia, haciendo que el alumno estudie los contenidos en casa para luego realizar sesiones de dudas, trabajos individuales o en grupo en el aula es conocido como flipped classroom o teaching classroom (clases invertidas).

Si bien son muchos los estudios que se han centrado en la caracterización del comportamiento de los alumnos durante el aprendizaje mediante clases a distancia o invertidas en otras materias [1][2], el presente manuscrito servirá para contrastar algunos de estos resultados para el campo de la electrónica, además de describir nuevas tecnologías usadas en el aula y el proceso de creación de contenido con éstas.

Cabe destacar la irrupción de nuevos canales de enseñanza online, e incluso de Universidades con métodos de enseñanza semi-presenciales o no presenciales con, cada vez mejor valoración dentro del ranking ARWU (Academic Ranking of World Universities) de Shanghai [3].

En muchas ocasiones, no será necesario tener que crear nuevos vídeos o contenidos si ya existe material de buena calidad online de dominio público que pueda ser reutilizado. En este aspecto cabe mencionar que, dichos vídeos, no siempre son sacados de fuentes fiables y pueden contener errores de sus propios autores. Es por ello que, de usarse contenido ya disponible en internet, lo primero es revisar que no contengan fallos o suposiciones no fundamentadas.

Aunque esto puede sonar maravilloso, los métodos aquí empleados, así como las encuestas realizadas a los alumnos, muestran que, aunque el alumno disponga de material on-line, es importante que el alumno sepa cómo enfrentarse a dicho material y lo haga siguiendo unas pautas o indicaciones de una persona (profesor o instructor) que además pueda encargarse de realizar sesiones posteriores de atención de dudas.

II. ESTADO DEL ARTE

La asignatura de Electrónica Analógica donde se han aplicado los distintos métodos, ya contaba con material para el estudio bastante completo en forma de presentaciones en “PowerPoint”, con las correspondientes referencias bibliográficas, y boletines de ejercicios con los resultados, no así la resolución de los mismos.

Inicialmente comenzaron a darse clases con el PC del aula conectado al proyector para ver las presentaciones de las distintas partes del tema correspondiente y realizando las explicaciones puntuales además de los ejercicios o demostraciones en la pizarra como medio complementario.

Esta asignatura es un poco especial en el sentido de la necesidad de comprensión de una gran diversidad de circuitos, en muchas ocasiones de una dimensión importante, lo que hace que se pierda tiempo en replicar el circuito en pizarra. Además, es de gran utilidad el uso de gráficas interactivas de las distintas ondas (bien sean de tensión, corriente o potencia) durante su paso en distintos puntos del circuito que ayuden al alumno a la comprensión del mismo. Para hacer más eficiente todo ello, se decidió reemplazar el PC por el iPad con lápiz electrónico conectado al proyector del aula.

El iPad contiene aplicaciones muy interesantes para el uso del iPad Pencil. Jayashree S. Ranga escribe un artículo de cómo usar la aplicación “Explain Everything” para impartir cursos de Química [4]. Tras hacer un estudio comparativo de todas las aplicaciones para la edición de contenido o toma de apuntes con Apple Pencil, se llegó a la conclusión que, de entre todas ellas, las más destacadas eran Notability y

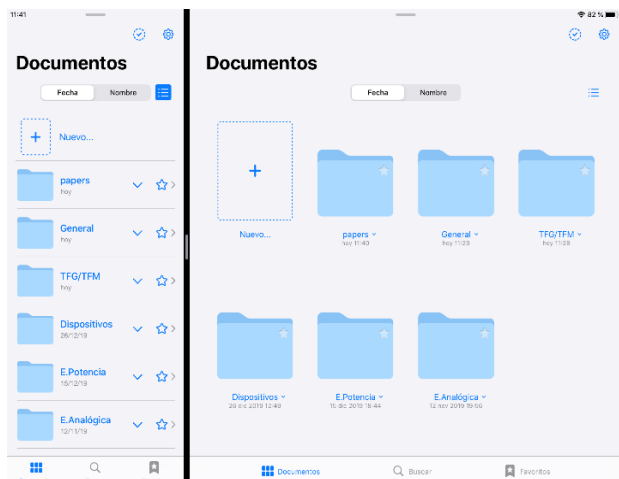


Fig. 1. Sistema de archivos de GoodNotes.

GoodNotes. En este trabajo se hizo uso del segundo de ellos. Estas aplicaciones permiten importar las presentaciones de clase, crear documentos aparte y copiar en estos de forma muy sencilla gráficas, texto o circuitos procedentes del PowerPoint o de cualquier documento, indistintamente del formato que tenga. De esta forma y usando el Apple Pencil, es muy sencillo demostrar interactivamente el comportamiento de los circuitos, por ejemplo, haciendo anotaciones sobre el PowerPoint. Algunas de estas demostraciones fueron guardadas haciendo “print” en pantalla e incluso vídeo en pantalla para luego subirlas como contenido extra en el campus virtual. Estas prácticas potenciaron la participación e interacción de los alumnos en clase durante las explicaciones.

Una vez impartidas varias clases se realizó una consulta con varias opciones de respuesta para conocer el grado de satisfacción de los alumnos con respecto a la introducción de este tipo de tecnología para la impartición de la asignatura. También se puso un banco de sugerencias para ver la opinión o mejoras que les suscitaba.

Posteriormente se fue creando material audiovisual para el estudio autónomo del alumno en casa con la ayuda guiada del profesor. El alumno podía acceder a las explicaciones a través de la web, ya fuera por la plataforma docente virtual de la universidad o a través de un conocido Website de reproducción de vídeos.

Los contenidos fueron creados con la aplicación GoodNotes de iPad. Para ello, se prepararon varias plantillas con distintas dimensiones con marcas de agua referentes a la asignatura, autoría y Universidad. Los vídeos fueron realizados mediante la misma aplicación y la opción del iPad de grabación en pantalla con sonido. Las enormes posibilidades que te da la aplicación tanto en la tipología de trazas de bolígrafo, grosores y colores cuando se usa el Apple Pencil, como la posibilidad de copiar texto íntegro, gráficas y circuitos de forma simple, además de la introducción de texto en teclado lo hacen muy atractivo. Una vez realizadas las distintas grabaciones en pantalla de los vídeos se procedió a la edición y maquetación del mismo con la APP iMovie, aplicación muy intuitiva y extremadamente sencilla de usar.

Gracias a la introducción de este tipo de contenidos en el campus o el canal de YouTube, así como la reutilización de distintos vídeos demostrativos de gran calidad encontrados en internet, fue posible el ahorro de horas de clases en el aula con

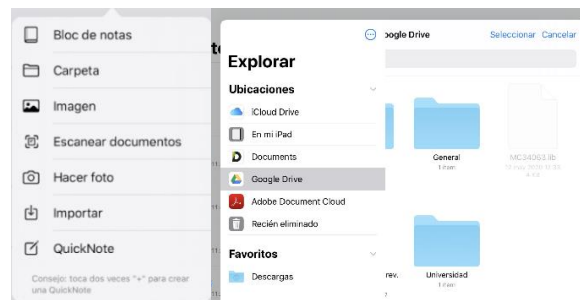


Fig. 2. Pantalla de importación de documentos en GoodNotes.

la intención de utilizarlas para sesiones de resolución de dudas y sesiones de trabajo o problemas, tanto en grupo como individuales, favoreciendo la participación y la evaluación continua del alumnado. Chaya Gopalan sostiene en sus estudios [5] que, el grado de implicación y participación del alumno aumenta con este tipo de prácticas.

Finalizado el curso se realizó otra consulta en forma de test sobre los métodos utilizados en clase y la opinión que les suscitaba la implantación de “flipped classroom” en futuras asignaturas de electrónica.

Con objeto de evaluar y registrar los resultados obtenidos con estos nuevos métodos, se realizó un estudio comparativo entre las calificaciones obtenidas por los alumnos que cursaron la asignatura en el curso 2018-2019 (con metodología tradicional) y los alumnos que lo tomaron en el curso actual 2019-2020.

Todos estos resultados serán analizados en el apartado de resultados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Como se ha comentado en el apartado anterior, el primer cambio que se realizó fue la introducción del iPad en el aula para explicar ciertos contenidos de forma interactiva y favorecer la participación de los alumnos. Muchas de las explicaciones fueron capturadas mediante impresión de pantalla y algunas mediante vídeo en pantalla y posteriormente subidas al campus virtual. Esto marcó un punto de inflexión a la hora de la familiarización con el iPad, Apple Pencil, sus aplicaciones y las posibilidades que ofrecían.

A. Herramientas usadas para llevar a cabo la enseñanza interactiva en iPad.

La App elegida para la creación de contenido fue GoodNotes en su versión última en ese momento, versión 5. Como se comentó con anterioridad este programa tiene una versatilidad muy alta con gran cantidad de opciones que presenta a la hora de editar contenido y es muy intuitivo. El principal punto a favor en la decisión respecto a su principal competidor, Notability, es que cuenta con un sistema de ficheros muy similar al de Windows y permite tener una estructura jerárquica de carpetas para guardar la información. Ambas aplicaciones son de pago y su precio ronda entre €7 y 10€ en un solo pago. En la figura 1 se muestran las dos opciones de visualización del sistema de ficheros.

A continuación, se detallan indicaciones precisas a la hora de realizar anotaciones con Apple Pencil sobre PDF en el caso particular de la aplicación GoodNotes:

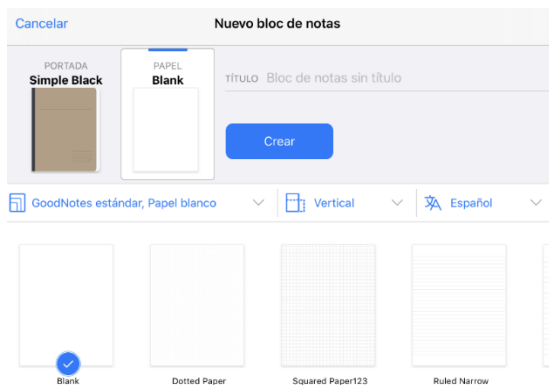


Fig. 3. Elección de plantillas en bloc de notas de GoodNotes.

1.- En primer lugar, es necesario importar la presentación o documentos con contenidos de la asignatura en formato PDF en el iPad. Puede hacerlo guardándolo en la carpeta de iPad mediante iTunes o bien con algún sistema de ficheros en la nube, como pueden ser: “Dropbox”, “iCloud Drive”, “Google Drive” u otros. Como opción personal se ha escogido Google Drive.


2.- Una vez hecho esto, abra la aplicación GoodNotes y cree una nueva carpeta pulsando en “Nuevo” y dentro de la lista desplegable escoja la opción “Carpeta”. A continuación, introduzca un nombre a la Carpeta como por ejemplo “Electrónica Analógica” y pulse la tecla “enter”.

3.- Para importar contenido a la carpeta, acceda en primer lugar a ella y pulse nuevamente la opción “Nuevo”. En este caso seleccione la opción “importar”, a continuación “Ubicaciones” y seleccione desde dónde quiere hacer la importación (figura 2). En el caso del ejemplo la opción es “Google Drive”. Seleccione el elemento dentro de esta opción y pulse aceptar. Ya tendrá el documento almacenado en su carpeta.

4.- Otra opción es crear un “Bloc de notas” pulsando en la opción “Nuevo” y escoger algunas de las opciones de papel que desea usar a la hora de facilitar la escritura sobre el mismo, tal y como se muestra en la figura 3. Se puede escoger papel en blanco o puede importar sus propios diseños con marca de agua. Este bloc de creará y almacenará en su carpeta.

5.- Abra cualquiera de las opciones creadas, como por ejemplo los apuntes de la asignatura. Puede pasar páginas dentro del documento PDF arrastrando dos dedos juntos hacia la derecha o retroceder página arrastrando con los dos dedos juntos hacia la izquierda. En la figura 4 se muestra un ejemplo de una página de presentación en la que se ha realizado una explicación interactiva con el Apple Pencil sobre la diapositiva. Esto es posible porque el PDF permanece intacto y usted puede ir haciendo anotaciones y borrando a medida que hace anotaciones.

Las opciones de edición son las mostradas en la parte superior de la figura 4. Entrando en detalle en ellos:

- La imagen  te permite seleccionar entre pluma, bolígrafo o rotulador.
- Una vez seleccionado el tipo de escritura con Apple Pencil, puede seleccionar el grosor de la traza pulsando entre una de las tres opciones de los botones

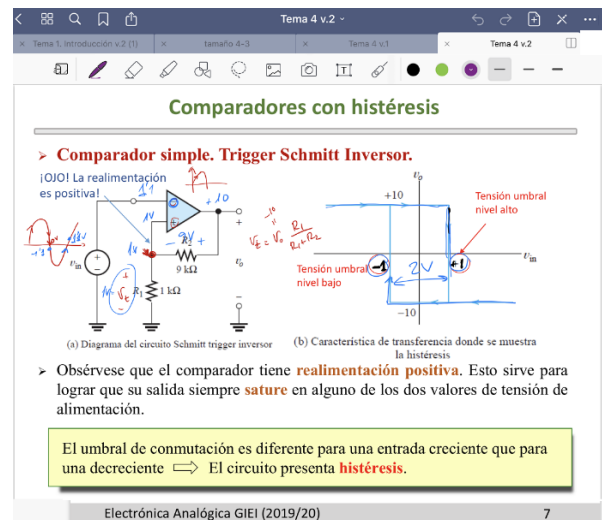











Fig. 4. Hoja de PowerPoint con comentarios hechos con Apple Pencil durante una explicación interactiva en el aula.

- de la barra de opciones e incluso cambiar el grosor dejando pulsado un segundo sobre alguna de dichas opciones.
- También puede seleccionar el color con el que desea escribir seleccionando uno de los botones  en la barra de opciones. Realizando una pulsación de al menos un segundo sobre alguno de ellos aparece una ventana con una gran paleta de colores.
- Si desea borrar la última edición puede utilizar el botón de deshacer , o bien el botón  “goma de borrar”. Con la pulsación de esta última opción aparece en lugar de los colores, las dimensiones de la goma de borrar. Aplique usando el Pencil la parte donde desea borrar.
- Otra opción de edición es la introducción de texto por teclado. Para ello, puede presionar el botón de cuadro de texto .
- Una opción muy útil es la de selección . Con esta opción es posible rodear con un círculo o polígono cerrado parte de la edición y llevarlas a otras partes del documento, pudiendo incluso aumentarlas o reducir las en tamaño. También se puede hacer un “print” en pantalla de partes de la página para exportarlas a otros documentos como, por ejemplo, el bloc de notas si desea hacer una explicación más extendida de dicha parte.
- Con la opción  puede trazar líneas rectas, cuadrados, ovoides o gran tipo de polígonos.
- También tiene una opción marcador  para subrayar el texto y dos botones para importar imágenes  y fotografías instantáneas .

Cabe mencionar que, en la tablet es posible aumentar ciertas partes de la página con la típica expansión de dedos sobre el cristal (como en todos los dispositivos móviles) y así poder realizar anotaciones de forma milimétrica. Para volver a su tamaño original puede hacer la típica retracción de dedos sobre el cristal de la Tablet para devolver la pantalla a su tamaño original.

En caso de que desee hacer alguna consulta o aprender algunas técnicas de la APP no explicadas aquí, le sugiero que acceda a la página de ayuda creada por GoodNotes, entre las que cabe destacar, una guía de inicio con la aplicación [7].

Después de impartir algunas lecciones en el aula con iPad y observar los buenos resultados de la primera consulta a los estudiantes, se decidió crear contenidos on-line para comenzar a aplicar metodologías propias usadas en "flipped classroom".

El proceso de edición de videos se describe en la siguiente sección.

B. Herramientas usadas para la edición de vídeos

Para la realización de vídeos, el método usado ha sido el del uso de la misma aplicación anterior, GoodNotes, y la aplicación de Grabación de pantalla propia de iPad. Es por ello que, lo primero que es necesario hacer es la preparación del contenido en un bloc de notas o de la página correspondiente que se desee explicar (dentro de GoodNotes) antes de realizar la grabación.

Por poner un ejemplo, si se pretende realizar un ejercicio en vídeo con las oportunas explicaciones, lo aconsejado es:

1. Abrir un bloc de notas con la plantilla que se desee.
2. Insertar el enunciado del problema, circuitos o preparar gráficas previamente para su inserción en las partes del texto que vayan redactándose.
3. Activar la opción de grabación en pantalla y comenzar a resolver el ejercicio.

Mientras se hace la grabación en pantalla, es muy común cometer pequeños errores mientras se habla o se está resolviendo el propio ejercicio. En este aspecto, no habrá problema alguno puesto que posteriormente se hará uso de una aplicación para editar y maquetar el vídeo. Ante esta situación, el personal docente ha preferido seguir las siguientes pautas:

1. Cortar el vídeo cada vez que hay un error.
2. Borrar con Apple Pencil la parte donde se ha cometido el error.
3. Grabar un nuevo vídeo desde la parte que ya estaba bien.
4. Concatenar todos los cuadros grabados con una aplicación de edición de video y elimine las partes con errores que estarán cerca de la unión entre pistas.

Una vez concluida la grabación del ejercicio, habiendo obtenido varios vídeos durante el proceso, se hará uso de cualquier aplicación de edición de vídeo. En este caso, se usó una aplicación iOS gratuita de Apple de nombre iMovie. Esta aplicación le permite crear un proyecto e ingresar varios videos en el orden que se considere apropiado para concatenarlos entre sí. Mediante el uso de los pasos descritos con anterioridad, será posible identificar las partes con errores de forma sencilla, ya que estarán cerca de la unión entre pistas

En la figura 5 se muestra la pantalla principal de la aplicación con las distintas herramientas. Es muy intuitivo, pues con únicamente tres o cuatro acciones es posible recorrer el vídeo, dividir cada tramo en dos, recortar de esta forma vídeo, ver que coincidan videos contiguos, separar audio del vídeo, e incluso eliminar el audio asociado al vídeo e introducir un nuevo audio adaptado a él. También es posible cambiar el tamaño del vídeo. Esto es muy útil porque,

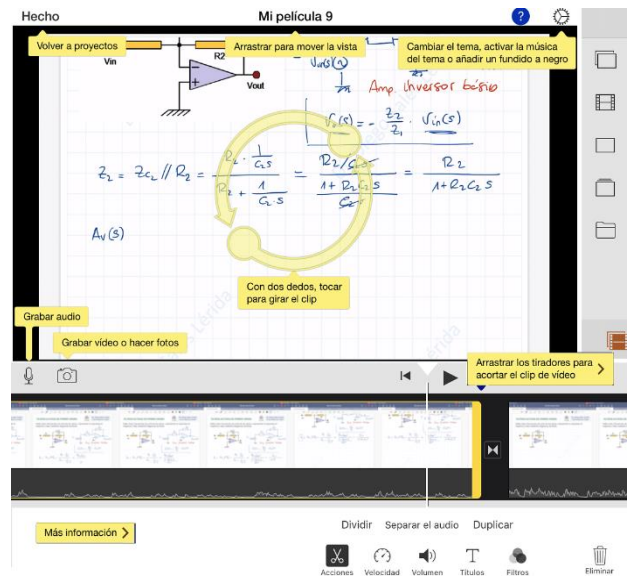


Fig. 5. Pantalla de iMovie en la que se muestra la unión de dos vídeos y las distintas opciones.

aumentando el tamaño con los dedos, es posible enfocar de forma exclusiva la parte del vídeo útil, pudiendo eliminar por ejemplo la barra de opciones de edición del GoodNotes (pluma, goma de borrar, traza, colores,...).

Lo interesante de esta aplicación es que una de las aplicaciones nativas de Apple y, por tanto, está muy bien documentada en una subpágina de Apple con ayuda para la aplicación [8]. En esta aparecen varios enlaces y, entre ellos, por ejemplo, el de crear un nuevo proyecto [9].

Otra aplicación interesante para editar video es Shotcut. Esta es una aplicación de escritorio gratuita para múltiples plataformas como Windows y es realmente intuitiva. Tiene más opciones que iMovie, como agregar nuevas imágenes, fotos o tramas de video superpuestos en el video principal.

Una vez terminado el proceso de edición, se puede guardar el vídeo en la videoteca de iPad o exportarlo con extensión .MOV a cualquier parte del sistema de archivos, como pudiera ser Google Drive.

De esta forma, ya quedará listo el vídeo en la nube para poder subirlo al campus virtual o a cualquier canal privado o público, a través por ejemplo de la plataforma YouTube.

C. Lecciones aplicando flipped classroom

Lo que permitió la edición de este tipo de vídeos fue un ahorro considerable de ciertas explicaciones que se impartían de forma presencial en el aula adelantar. Para ello, cabe mencionar que el alumno tiene que recibir unas pautas precisas de qué material tiene que revisar y para qué lo hace y todo ello, para que se sienta de alguna forma guiado y no perderse.

El tiempo ahorrado en clase fue aprovechado para sesiones de resolución de dudas y sesiones de trabajo o problemas, tanto en grupo como individuales, favoreciendo la participación y la evaluación continua del alumnado. Este tipo de actividades realizadas en clase fue valorado de forma muy positiva por el alumnado como se verá a continuación.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Consulta sobre la introducción del iPad en el aula

Después de impartir algunas clases usando el iPad, se publicó una consulta en el campus para que los estudiantes tuvieran la opción de responderla dentro de un período máximo de tres días. La consulta permitió a los estudiantes elegir su preferencia con respecto a los medios utilizados de enseñanza en el aula:

- Clases teóricas con PowerPoint normal y problemas en pizarra (medio tradicional).
- Clases teóricas con iPad y problemas en pizarra.
- Clases teóricas y resolución de problemas en iPad.

La encuesta fue respondida por un total de 40 alumnos y resultado porcentual es el que se muestra en el gráfico circular de la derecha. Como es posible apreciar en la figura 6, únicamente un 7% (3 alumnos) prefería seguir dando las clases en aula tal y como se estaban impartiendo. El 93% restante estuvo a favor de la introducción del iPad para su uso en las explicaciones y demostraciones teóricas. Aun así, el 64,5% de las personas que preferían el iPad seguían queriendo ver la resolución de los problemas en la pizarra.

Además de esta consulta se puso un banco de sugerencias anónimo con la pregunta “¿Tiene alguna sugerencia o algún tipo de dificultad en clase a la hora de recibir la docencia?” a lo que se obtuvieron 9 respuestas. Haciendo una síntesis de las sugerencias, los alumnos señalaban que:

1. El uso del iPad en las explicaciones teóricas lo hacía más eficiente dado que era posible apoyarse sobre el PDF para hacer anotaciones.
2. Les gustaría que subiera al campus virtual impresiones en pantalla de algunas de las explicaciones realizadas en iPad y vídeo si fuera posible.
3. La mejor visibilidad del iPad a la hora de revisar contenido o realizar ejercicios en comparación a la pizarra.
4. Sería interesante mezclar ambos métodos, iPad y pizarra, ya que el iPad servía para enterarse mejor, pero llegaba a hacerse monótono en una clase de hora y media.
5. El descenso de iluminación en el aula para poder ver con mejor contraste la pantalla del proyector hacía que le produjera cierta somnolencia y pérdidas de atención.
6. Les gustaría disponer de mayor material en el campus con ejercicios resueltos o explicaciones interactivas para poder practicar a la hora de revisar la asignatura de cara al examen.

La opinión de los alumnos fue tomada en cuenta para las clases presenciales.

B. Consulta a estudiantes sobre flipped classroom.

Finalizado el curso se realizó una nueva consulta en forma de test con 7 afirmaciones sobre los métodos utilizados en clase y sobre la implantación de “flipped classroom” en futuras asignaturas de electrónica donde los alumnos debían seleccionar si para dichas afirmaciones estaban: A- Fuertemente de acuerdo; B- De acuerdo; C- Neutral; D- En desacuerdo; y E- Fuertemente en desacuerdo.

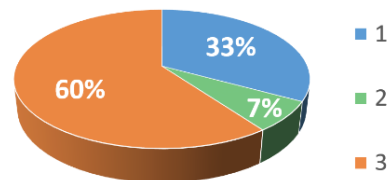


Fig. 6. Preferencia sobre los medios usados.

Las cuestiones planteadas fueron las siguientes:

1. Con respecto a los vídeos, "Me gustó la posibilidad de tener vídeos cortos como apoyo a la docencia".
2. Con respecto a los vídeos, "Me permiten aprender el material de estudio más eficazmente que hacer las lecturas en solitario".
3. Con respecto a los vídeos, "He vuelto a hacer uso de ellos o tengo pensado hacerlo a la hora de repasar la asignatura".
4. ¿Cree posible la supresión de algunas clases tradicionales en ciertos contenidos para el aprendizaje autónomo mediante vídeos? (Los vídeos serían subidos de forma guiada y se destinaría parte de las clases a atención de dudas, consultas y actividades).
5. Respecto a las clases que se han destinado a la resolución de actividades o ejercicios de forma individual o grupal, "Estas clases me sirvieron para enfrentarme a los distintos problemas que me puedo encontrar y sobreponerme a la hora de resolverlos".
6. Respecto a las clases que se han destinado a la resolución de actividades o ejercicios de forma individual o grupal, "Me ayudan a conectar con el contenido que se está impartiendo".
7. De cara a futuras asignaturas, "Me gustaría poseer contenidos audiovisuales para el aprendizaje autónomo y dedicar más tiempo de clase a sesiones de dudas, problemas o actividades, tanto individuales como grupales, en lugar de las clases tradicionales".

La encuesta fue respondida por un total de 40 alumnos y el resultado porcentual es el mostrado en la figura 7, en los distintos gráficos circulares correspondientes a cada una de las cuestiones.

En las cuestiones 1, 2 y 3, se hicieron preguntas relacionadas con los vídeos. En ellas, los alumnos respondieron por mayoría que estaban fuertemente de acuerdo con la opción de tener vídeos, dada la eficacia de los mismos y la posibilidad de reproducirlo cuantas veces considera oportuno a la hora de realizar un repaso de la asignatura.

En la cuestión 4, los alumnos estuvieron muy de acuerdo en que con los vídeos llegaban a entender la materia de forma autónoma (pero guiada) y en reemplazar dichas horas de aula por actividades en grupo.

Las cuestiones 5 y 6 hacen referencia también a las actividades realizadas en clase y la mayoría respondió muy fuertemente de acuerdo a que dicho trabajo fue muy positivo a la hora de conectar con la asignatura y aprender a resolver actividades.

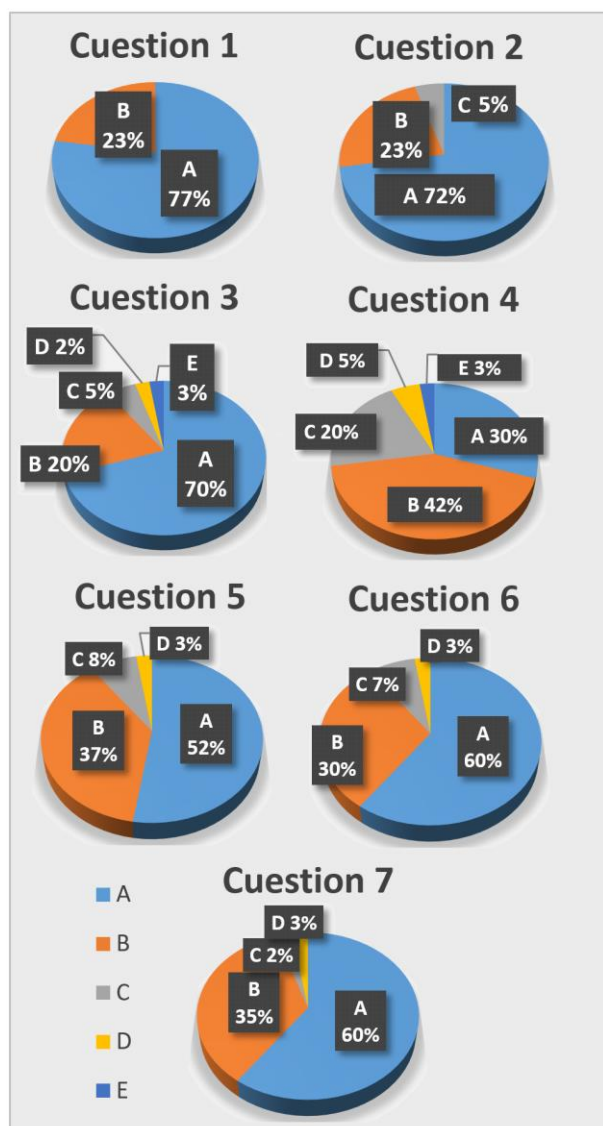


Fig. 7. Gráficas con el resultado de la encuesta en las cuestiones 1 a 7.

En la última cuestión (cuestión 7), se les consultó si les gustaría recibir clases con este tipo de metodologías en futuras asignaturas del área de electrónica, a lo que los alumnos respondieron casi de forma unánime, un 95%, que estaba de acuerdo con ello (habiendo respondido un 63% de ellos como fuertemente de acuerdo).

C. Estudio comparativo de las calificaciones de los alumnos entre el curso anterior y el actual.

Por último, se realizó un estudio comparativo entre las calificaciones obtenidas por los alumnos que cursaron la asignatura en el curso 2018-2019 (con metodología tradicional) y el curso actual 2019-2020. En la siguiente gráfica se observa el número de alumnos por calificación en las convocatorias de examen de febrero de 2019 y 2020 respectivamente.

La tabla refleja una mejoría en las calificaciones de este curso respecto al curso anterior. En términos porcentuales, en la convocatoria del curso actual, ha habido una mejora de un 4,5% en el número de alumnos suspensos y cerca del 20,5% de los alumnos aprobados ha mejorado su calificación.

TABLE I. NO. DE ALUMNOS POR CALIFICACIÓN Y CURSO ACADÉMICO.

Calificaciones	feb-19	feb-20
SOBRESALIENTE	4	4
NOTABLES	19	26
APROBADOS	13	11
SUSPENSOS	8	6
Total alumnos	44	47

V. CONCLUSIONES

En las diferentes consultas hubo una gran participación y el resultado en términos generales fue claramente favorable a la introducción de las explicaciones con nuevas tecnologías, tanto en el aula como fuera de ella. En este aspecto, la gran mayoría de los alumnos, estuvo a favor de disponer de contenido audiovisual para el estudio autónomo en casa, guiado por el profesor y con sesiones de resolución de dudas en el aula.

El resultado también refleja que, la mayoría volvía a reproducir los vídeos para la revisión de dudas o el refresco del conocimiento antes de realizar sus exámenes.

Con respecto a las horas ganadas de clase para el uso de trabajo en conjunto o individual y resolución de dudas, la consulta refleja de forma clara que estas sesiones les sirvieron para permanecer conectados a la asignatura, favoreciendo el seguimiento al día de la misma y conociendo los distintos problemas a los que se tenían que sobreponer a la hora de diseñar, escoger, analizar o resolver los distintos circuitos electrónicos.

Por otra parte, las calificaciones obtenidas en la convocatoria ordinaria de febrero del presente curso, en el cual se han introducido las nuevas metodologías, han mejorado respecto al curso anterior.

REFERENCES

- [1] G. C. Stöhr, C. Demazière, and T. Adawi, "The polarizing effect of the online flipped classroom", *Revista Computers & Education* 147, ed. Elsevier, December 2019.
- [2] B. Prevalla, and H. Uzunboyulu, "Flipped Learning in Engineering Education", *TEM Journal*, Vol. 8, Issue 2, May 2019, pp. 656-661.
- [3] Ranking ARWU, <http://www.shanghairanking.com/arwu2019.html>, accessed 2020-02-20.
- [4] J. S. Ranga, "Multipurpose Use of Explain Everything iPad App for Teaching Chemistry Courses", *Journal of Chemical Education*, American Chemical Society and Division of Chemical Education, Inc., 2018.
- [5] C. Gopalan, A. Fentem, and A. L. Rever, "The refinement of flipped teaching implementation to include retrieval practice", *Advances in Physiology Education*, 2019, pp. 131-137.
- [6] "How to guides, troubleshooting, answers to FAQ and more references about GoodNotes 5", <https://support.goodnotes.com/hc/en-us>, accessed 2020-02-25.
- [7] "Getting started with GoodNotes 5", <https://support.goodnotes.com/hc/en-us/articles/360000690095-Getting-started-with-GoodNotes-5>, accessed 2020-02-25.
- [8] "iMovie Support", <https://support.apple.com/imovie>, accessed: 25-02-2020.
- [9] "Create a new iMovie project", <https://support.apple.com/en-us/HT210410>, accessed: 25-02-2020



Session TS-4A

Systems in Education

Talleres de Ingeniería Electrónica y Tecnologías de la Información (TEeTI): una herramienta para incentivar vocaciones

Ruiz, Óscar

Dept. Enginyeria Electrònica i Biomèdica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
oscar.ruiz@ub.edu

Cornet, Albert

Dept. Enginyeria Electrònica i Biomèdica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
acornet@ub.edu

Carmona, Manuel

Dept. Enginyeria Electrònica i Biomèdica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
m.carmona@ub.edu

Serre, Christophe

Dept. Enginyeria Electrònica i Biomèdica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
cserre@ub.edu

Bosch, José

Dept. Enginyeria Electrònica i Biomèdica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
j.bosch@ub.edu

Resumen— El desarrollo de las competencias STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) es uno de los ejes estratégicos de la agenda educativa en todo el mundo. En España los datos muestran una fuerte disminución de vocaciones científico-tecnológicas y una disminución del interés de los jóvenes por profesiones en este campo. Dentro de este marco, se ha desarrollado una estrategia para establecer una vía que facilite el contacto, un mejor conocimiento y un enriquecimiento mutuo entre el Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica de la Universidad de Barcelona y los centros de enseñanza secundaria de nuestro entorno.

Palabras clave—Interacción Secundaria-Universidad

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las competencias STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) es uno de los ejes estratégicos de la agenda educativa no solo para los Estados de la UE [1], sino para organismos internacionales [2] y países como Estados Unidos [3]. Sin embargo, en España los datos muestran una fuerte disminución de vocaciones científico-tecnológicas y una disminución del interés de los jóvenes por profesiones en este campo [4], siendo el ámbito de las ingenierías relacionadas con la electrónica uno de los más afectados. Ello provoca una preocupación generalizada de diversos agentes sociales, desde asociaciones empresariales, colegios profesionales, instituciones académicas de formación superior hasta organismos gubernamentales [5][6]. Otro de los aspectos a mejorar es la presencia de mujeres en los estudios universitarios STEM [7]. En las Fig. 1 y Fig. 2 se presentan los resultados recopilados por EL MUNDO a partir de los datos presentados por la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE).

El objetivo de este trabajo es presentar la metodología usada para la realización de unos talleres orientados a estudiantes de ESO, bachillerato y de ciclos formativos de grado superior que les permitan tanto la comprensión del funcionamiento de objetos de uso cotidiano a partir de unas actividades diseñadas mediante la metodología científica como del papel primordial que juegan los profesionales tecnológicos en la consecución de estos avances, motivando su curiosidad y acercamiento hacia las temáticas tecnológicas a la vez que concienciándoles sobre sostenibilidad y uso razonable de fuentes de energía. La fuerte implicación de empresas del sector electrónico y de las tecnologías de la

% DE ESTUDIANTES MATRICULADOS

■ Ciencias de la salud ■ Ingeniería y arquitectura
■ Ciencias ■ Ciencias jurídicas y sociales
■ Artes y humanidades

España

2006	10,1	25,5	5,0	49,6	9,8
2007	10,6	24,9	4,8	49,9	9,8
2008	11,1	24,1	4,6	50,3	9,9
2009	11,2	23,6	5,6	49,8	9,8
2010	11,3	22,7	4,4	51,4	10,3
2011	11,5	22,2	5,4	50,1	10,8
2012	11,6	21,2	5,5	50,4	11,2
2013	13,9	21,1	5,4	48,2	11,4
2014	14,5	20,4	5,3	48,4	11,4
2015	13,1	19,5	5,9	50,0	11,5
2016	13,5	18,4	5,9	50,7	11,6

UE-28

2006	9,3	19,5	6,7	50,2	14,0
2007	9,3	19,4	6,7	50,3	13,9
2008	9,8	19,2	6,6	50,6	13,6
2009	9,9	19,2	6,6	50,5	13,4
2010	9,9	19,4	6,6	50,4	13,3
2011	10,3	19,8	6,6	50,0	13,0
2012	10,5	19,8	6,8	49,3	13,3
2013	13,4	20,0	5,1	47,9	13,6
2014	13,7	20,1	5,1	47,6	13,6
2015	12,0	21,3	7,9	46,1	12,8
2016	12,2	21,2	8,1	45,8	12,8

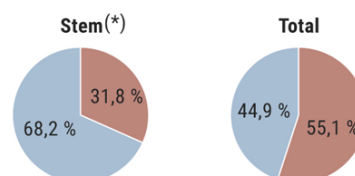
FUENTE: Crue.
A. U. / EL MUNDO GRÁFICOS

Fig. 1. Porcentaje de estudiantes matriculados en las distintas ramas de conocimiento tanto en España (gráfica superior) como en la Unión Europea (gráfica inferior).

INFRARREPRESENTACIÓN DE LAS MUJERES

Estudiantes de grado y máster por sexo 2017-2018

■ Hombres ■ Mujeres



(*): Ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas.

FUENTE: Crue.
A. U. / EL MUNDO GRÁFICOS

Fig. 2. Diagrama que muestra la gran diferencia entre la presencia de hombres y mujeres en las titulaciones STEM. La infrarrepresentación se acentúa si se tiene en cuenta que en el total de las titulaciones las mujeres superan a los hombres en más del 10%.

información en las actividades I+D+I que se realizan en el Departamento, cuyos miembros tienen una experiencia contrastada en la responsabilidad de diseño, gestión y ejecución de proyectos de investigación competitivos y de transferencia de tecnología, ha hecho posible el diseño y ejecución de estos talleres. La novedad de estos talleres reside en el hecho de inculcar en los adolescentes las ventajas de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico a partir de la realización de actividades interactivas relacionadas con objetos y conceptos de las tecnologías de la información, la comunicación y el ocio muy introducidos en su vida cotidiana, motivo por el cual han de atraer su atención. Por ello, se han escogido, como elementos conductores de los diferentes talleres, actividades relacionadas con la tecnología de circuitos integrados, con las tecnologías de la información y la robótica, y con sistemas basados en sensores de movimiento en 3D similares a los que se encuentran hoy en día en drones o en cualquier dispositivo móvil o de realidad virtual.

Los objetivos a conseguir son:

- Aumentar la cultura científica de los estudiantes.
- Proporcionar al asistente un conocimiento coherente y crítico de las tareas de investigación y desarrollo tecnológico que propician la existencia de las tecnologías de la información, comunicaciones y ocio presentes en su entorno.
- Valorar la aportación de la ciencia y la tecnología en la obtención de nuevos materiales y fuentes de energía alternativas.
- Adiestrar al asistente en la obtención, análisis y organización de informaciones de carácter científico.
- Mostrar y hacer uso de representaciones y modelos habituales en laboratorios de desarrollo tecnológico.
- Fomentar y aumentar vocaciones científico-tecnológicas.
- Infundir en los asistentes el método científico a través del contacto directo con investigadores generacionalmente cercanos.
- Incitar a reflexionar y establecer un espíritu crítico sobre cuestiones de carácter científico-tecnológico.
- Dar a conocer la investigación científica que realizan los Grupos de investigación del Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica de la UB, relacionándola con los objetos motivo del taller.
- Consolidar la imagen pública de la ciencia y tecnología como actividades generadoras de riqueza, desarrollo y calidad de vida.

II. ASPECTOS RELEVANTES

En este apartado describimos los aspectos más relevantes que se han tenido en cuenta en miras a obtener el máximo grado de impacto de los talleres.

A. Adecuación de las actividades al entorno

Los talleres ofrecidos abarcan diferentes aspectos de gran novedad: tecnología de circuitos integrados y programación de circuitos. Estos contenidos, al corresponder a objetos o conceptos de amplio uso, repercusión social o presencia en medios de comunicación, han sido elegidos para suscitar el



Fig. 3. Portada del material de difusión utilizado para distribuir entre los centros de secundaria.

interés de los estudiantes y motivarlos hacia el conocimiento del método científico.

B. Implicación Universidad-secundaria

Los talleres están dirigidos especialmente a estudiantes de bachillerato y ciclos formativos de grado superior. Sin embargo, podrán ser utilizados por otros destinatarios, como por ejemplo estudiantes de segundo ciclo de secundaria en actuaciones puntuales como podrían ser unas jornadas de puertas abiertas o unas sesiones específicas de divulgación. Durante los talleres los participantes desarrollan unas actividades que se enmarcan en un contexto dirigido a motivar su curiosidad y espíritu crítico, a partir de la formulación de preguntas concretas y guiándoles hasta la obtención de la respuesta mediante la utilización de instrumentación, componentes y materiales idénticos a los que pueden encontrarse en laboratorios de investigación y desarrollo. El alcance de la acción no sólo se restringe a la comprensión de la metodología científica necesaria para responder a preguntas seleccionadas o al conocimiento de los avances tecnológicos que han hecho posible el uso habitual de objetos como el móvil, sino que también pretende poner en contacto a los estudiantes con los instrumentos y técnicas habituales en laboratorios de investigación. El contenido de los talleres ha



Fig. 4. Esquema del planteamiento de transferencia de conocimiento que se pretende alcanzar con los talleres TEeTI.

sido diseñado por profesores del Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica, con amplia y contrastada experiencia en la coordinación y realización de proyectos de investigación y transferencia tecnológica. Para adecuar el contenido didáctico y pedagógico a los estudiantes de bachillerato se incluyen en el equipo de trabajo profesores de secundaria con el objetivo adicional de que las actividades sean complementarias a las actividades de tecnología contempladas en el currículum de las asignaturas más tecnológicas para un doble aprovechamiento por parte de este tipo de alumnado. Así, aparte del objetivo general de divulgación y comprensión científica orientado a todo tipo de estudiantes, independientemente de su rama de conocimiento, los estudiantes de tecnología se verán beneficiados por el hecho de realizar actividades con unos medios e instrumentos difícilmente a su alcance en los centros no universitarios.

C. Proceso de inscripción on-line

El servicio de atención al estudiante (SAE) de la UB dispone de herramientas informáticas que permiten la inscripción on-line a las actividades del taller. Estas herramientas permiten visualizar tanto el contenido de los talleres ofertados como la evolución de las inscripciones, contemplando un número máximo de alumnos y una correcta distribución de alumnos entre los diferentes talleres, de cara a optimizar los recursos, tanto de monitores necesarios para atender a los alumnos como del material necesario para cada actividad. Otra de las ventajas de este procedimiento es el permitir la inscripción de alumnos de centros ubicados en distintas zonas geográficas. La disponibilidad de este recurso antes del inicio de curso permite a los centros hacer compatible la asistencia a los talleres dentro de las diferentes actividades y visitas a realizar contempladas en la programación del curso.

D. Uso de tecnologías y aplicaciones informáticas

Como instrumento didáctico, cada taller dispondrá de unos guiones que contendrán las cuestiones previas a resolver, las actividades y montajes a realizar y tablas o cuestionarios en



Fig. 5. Portada de acceso a los talleres TEeTI, elaborada y gestionada por el Servicio de Atención al Estudiante de la UB.



Fig. 6. Ejemplo de página web con información práctica para profesores y estudiantes de los talleres TEeTI.

las que el alumno habrá de reflejar las medidas realizadas o las respuestas. Estos guiones estarán ilustrados con fotografías y esquemas de los montajes para motivar, hacer más amigable la actividad y atraer la atención del estudiante. Estos mismos guiones ampliados con unos mínimos contenidos de conocimiento previo, estarán disponibles en formato web, de manera que los tutores o responsables de los estudiantes en su centro, podrán realizar trabajos o actividades previas o profundizar en ciertos aspectos relacionados con el taller.

E. Interacción con jóvenes estudiantes universitarios

Durante la realización de los talleres habrá unos monitores que asistirán a los estudiantes, les ayudarán en la realización de actividades, resolverán sus dudas y procurarán incentivar su curiosidad y su interés. Para facilitar la comunicación e interactividad los monitores serán escogidos entre estudiantes de doctorado del Departamento o estudiantes de últimos años de las titulaciones más afines a los contenidos del taller (Ingeniería Electrónica de Telecomunicación, Ingeniería Informática, Física e Ingeniería de Materiales). Este aspecto es otro de los valores añadidos de estos talleres: la posibilidad de interaccionar con científicos en fase de formación se presenta como un punto muy positivo para fomentar la vocación e interés de los estudiantes hacia la ciencia o tecnología, puesto que ha de permitirles conocer tanto el atractivo de trabajar en temas novedosos y de gran actualidad como la necesidad de tener profesionales en estas ramas del conocimiento en los que existe gran demanda y un déficit cada vez más acentuado de profesionales.



Fig. 7. Grupo de estudiantes realizando el taller de tecnología supervisados por un monitor.



Fig. 8. Portal audiovisual de la UB que dispone de los videos que se presentan a los asistentes a los talleres durante el recibimiento a las instalaciones de la Facultad de Física.

III. DESCRIPCIÓN DE ACCIONES

A. Presentación de videos

El grupo de estudiantes es recibido por un profesor del Departamento que exhibe un video donde se hace énfasis en la importancia de la Electrónica en la vida cotidiana. Dicho video también remarca los aspectos más interesantes de las actividades docentes y de investigación que se realizan en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica. A continuación, se exhibe un segundo video que hace referencia a la importancia de las actividades de ingeniería y su implicación en nuestro entorno, mostrando imágenes de aplicaciones usuales con las que los estudiantes están familiarizados.

B. Organización de grupos

Al finalizar la presentación de los videos, se organiza a los estudiantes en los diferentes grupos que corresponden a cada uno de los talleres. Dado que al final todos recibirán una placa obsequio en la que hay un conjunto de LEDS que permiten ser programados de manera que aparezca el nombre que previamente se ha incorporado en el programa de visualización, se pide a los asistentes un nombre o palabra inferior a 6 caracteres con el cual deseen ser identificados. Una vez recopilados los datos de todos los asistentes, se organizan los grupos de acuerdo con el proceso de inscripción realizado previamente en la plataforma on-line.

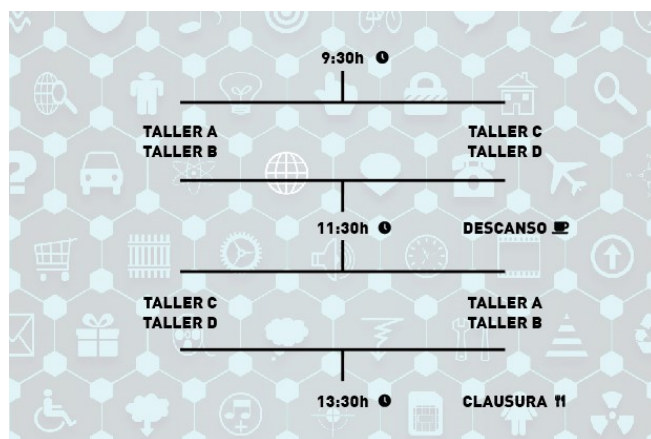


Fig. 9. Esquema temporal de las actividades durante una jornada de talleres TEeTI.

C. Tecnología

En este taller se hace una presentación de los aspectos más relevantes de la tecnología de implementación de circuitos integrados. Para conseguir un mayor impacto, los participantes reciben un pack con batas desechables, gorros, guantes y protectores de zapatos que recrean las condiciones de trabajo existente en las salas blancas donde se implementa la tecnología microelectrónica (Fig. 10).



Fig. 10. Grupo de estudiantes poniéndose batas desechables, gorros, guantes y protectores de zapatos, que recrean las condiciones de trabajo existente en las salas blancas, durante el taller de tecnología.

Aparte de visualizar un video que muestra las características principales de las etapas tecnológicas, los participantes realizan una actividad que tiene por objetivo utilizar máscaras y realizar ataques químicos selectivos en una placa de circuitos impresos PCB (Printed Circuit Board). Se aprovecha esta actividad para realizar las placas personalizadas (Fig. 11) que serán entregadas al final de las sesiones a todos los participantes. En la segunda parte del taller, se estudia un circuito electrónico realizado sobre una PCB. El estudiante ha de identificar los diferentes componentes, relacionarlos con el esquema teórico del circuito y comprender las conexiones grabadas en la placa. A continuación, se realiza una extrapolación a la tecnología microelectrónica. Un video explicará las bases de la tecnología de fabricación de circuitos y finalmente, se observan en el microscopio diferentes circuitos integrados, identificando las partes principales.

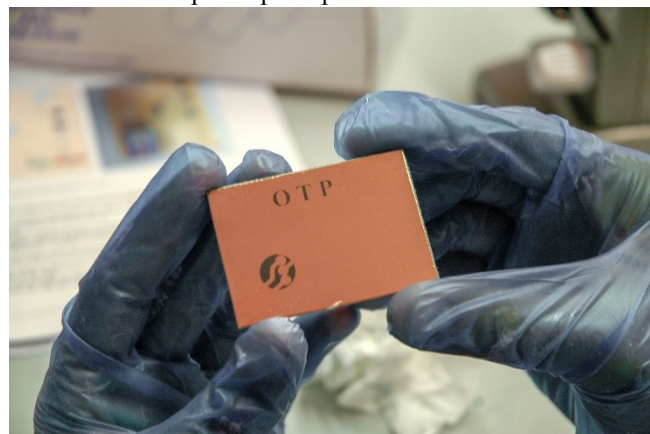


Fig. 11. Placa revelada por uno de los estudiantes asistente al taller de tecnología.

D. Taller de programación del robot LEGO Mindstorms

El objetivo de este taller es comprender como funciona el software de programación de un robot. Se ha seleccionado el

robot de LEGO (Fig. 12) puesto que dispone de 4 sensores: sonido (micrófono), luz (LED y fotodetector), contacto (interruptor) y distancia (ultrasonidos) y 3 motores: el motor A que abre y cierra pinzas, el motor B que actúa sobre la rueda derecha y el motor C sobre la rueda izquierda.

En el apartado de programación básica, se proponen diferentes actividades a realizar programando los sensores y motores del robot de manera adecuada y apropiada. Para asistentes más avanzados en la programación de robots, se modifica este apartado por otro más avanzado en el que se realiza la programación de diferentes rutinas, reproduciendo las funciones de un robot en un espacio de almacenaje automático.



Fig. 12. Robot LEGO Mindstorms en configuración Tribot en el que pueden distinguirse los sensores de contacto, sonido y distancia.

E. Taller de drones

En una primera parte se trabaja con los dispositivos sensores del dron. El objetivo de este taller es comprender cómo funcionan los sistemas de medida inercial, IMU (del inglés Inertial Measurement Unit). Estos sistemas utilizan acelerómetros, giroscopios y sensores magnéticos. En este taller se trabajará con estos dispositivos y se verá cómo intervienen en el sistema de navegación. Para la caracterización de los parámetros de la IMU se utilizan placas Arduino (Fig. 13).



Fig. 13. Modelos de placa Arduino utilizados en la caracterización de los parámetros de la IMU.

En la segunda parte de este taller se trabaja con la otra parte básica del dron, los motores. El objetivo de este taller es conocer las características de un motor paso a paso para comprender su funcionamiento. También se describe la finalidad de los diferentes motores que equipan al dron y que permiten, mediante el control de la velocidad y orientación de los 4 motores que el dron despegue y vuele en la dirección

deseada. Los participantes realizan la programación de los microcontroladores que controlan un motor paso a paso (Fig. 14).

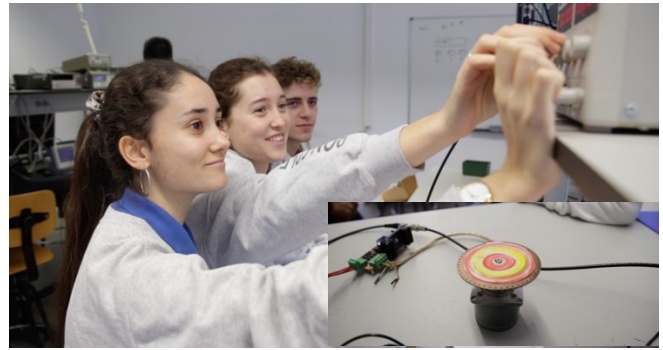


Fig. 14. Asistentes al taller de drones interactuando con motores paso a paso.

Para finalizar este taller, los monitores realizan una demostración del funcionamiento de un dron realizado por alumnos del Grado en Ingeniería Electrónica de Telecomunicación de la UB (Fig. 15).



Fig. 15. Dron utilizado para la demostración final del taller de drones. Por razones de seguridad está localizado en un espacio protegido por placas de metacrilato.

F. Actividad final

La asistencia a los talleres finaliza con la entrega a cada participante de una placa con una pantalla de visualización constituida por una columna de LEDs y un sistema de control (Fig. 16) que se ha programado para reproducir el nombre o palabra escogido por el asistente y que sólo es visible al ojo cuando se mueve la placa.

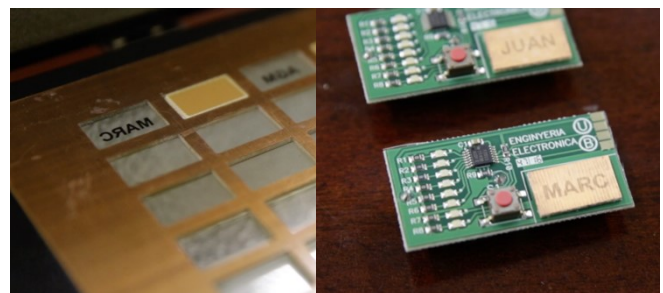


Fig. 16. A la izquierda puede verse el montaje utilizado en la fase de insulación de los nombres escogidos por los asistentes para su regalo. A la derecha se muestran dos de las placas de regalo entregadas en la actividad final a todos los asistentes.

IV. DATOS SOBRE PARTICIPANTES

La inscripción a los talleres mediante el formulario web del servicio de *Futurs Estudiants* de la UB, permite obtener datos sobre asistencia a cada taller, distribución geográfica de

los centros que inscriben la actividad y la programan dentro de sus actividades extraescolares. En conjunto asisten a los talleres un promedio cercano a los 1000 estudiantes cada curso. Aunque la mayoría de los centros asistentes están ubicados en Barcelona o en el área metropolitana, cabe destacar que alrededor de un 15% de centros son de fuera del entorno metropolitano, habiendo casos de centros ubicados en poblaciones situadas a más de 100 km. de distancia.

Cabe también destacar que el porcentaje de asistentes femeninos no supera el 25%, dato acorde a las estadísticas globales presentadas en la introducción.

V. GRADO DE SATISFACCIÓN E IMPACTO

Inicialmente se planteó la idoneidad de realizar encuestas entre los participantes en los talleres para conocer su grado de satisfacción con las actividades pero finalmente se optó por no implementarlas. La razón principal es puramente práctica ya que la duración de los talleres es de un total de cuatro horas y nos pareció excesivo solicitar aún más tiempo para cumplimentar una encuesta. En próximas ediciones no descartamos solicitar a los profesores que pasen una encuesta online entre los alumnos participantes. Hasta ahora se considera como indicador de satisfacción fácilmente comprobable la inscripción, curso tras curso, de las mismas escuelas e institutos a los talleres. Si el profesorado responsable de la inscripción y acompañamiento de los estudiantes a las actividades no estuviera satisfecho o sus alumnos les demostraran insatisfacción tras haberlos realizado no creemos probable que participaran en ediciones posteriores. La realidad es que la casi totalidad de inscripciones a los talleres corresponden a centros de secundaria que han participado en ediciones anteriores y por tanto demuestran su satisfacción con las actividades propuestas.

Otra medida indirecta de satisfacción es la selección del taller que hace cada centro de secundaria. Durante el proceso de inscripción el profesorado escoge una actividad de entre las que ofrecemos cada curso. Si alguna de las actividades es claramente rehusada, la descartamos y desarrollamos una nueva actividad. En este artículo se han presentado las actividades actuales pero en cursos anteriores disponíamos de otras que con el tiempo dejaron de presentar atractivo y las reemplazamos por otras más novedosas. Este proceso evolutivo siempre se ha realizado teniendo en cuenta las opiniones del profesorado de secundaria con el que entablamos un enriquecedor diálogo mientras sus alumnos realizan los talleres. Para próximas ediciones se implementará una encuesta online de satisfacción entre el profesorado.

En lo que respecta al impacto que las actividades han tenido entre sus participantes cabe resaltar que aunque el propósito original de los talleres presentados hubiera sido atraer estudiantes a una titulación concreta dicho objetivo hubiera resultado sobran desde el momento en que ninguna de las titulaciones en las que está involucrado el Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica de la UB ha tenido plazas vacantes al final de los procesos de inscripción. A pesar de ello nunca se ha planteado dejar de realizar los talleres porque, tal como se ha comentado en la introducción, en la actualidad la sociedad necesita graduados en ingeniería y los jóvenes cada vez se ven menos atraídos por este tipo de

estudios. Cualquier impulso, por mínimo que sea, encaminado a promover vocaciones será bienvenido.

No se han realizado encuestas entre los alumnos de primer curso de Ingeniería Electrónica de Telecomunicación de la UB para saber si los talleres TEeTI habían tenido alguna influencia en su elección de titulación. A pesar de todo consta que algunos de los alumnos de EET pasaron por los talleres y en algún caso incluso han acabado siendo profesores de la titulación. De todas maneras la pregunta importante, y difícilmente realizable en la práctica, sería ¿cuántos de los alumnos asistentes a los talleres TEeTI han cambiado su elección de grado de una “no ingeniería” hacia una ingeniería tras pasar por ellos? Esta cantidad sería la que marcaría el éxito o fracaso de la actividad.

VI. CONCLUSIÓN

La realización de talleres en el ámbito de la Ingeniería Electrónica está encaminada a realizar actuaciones de divulgación en el entorno de laboratorio universitario para promover la vocación hacia estudios de ingeniería. Todas las actividades y metodología utilizadas incluyen las novedades tecnológicas tanto en el contenido de los talleres como en el uso de plataformas y herramientas tecnológicas acorde con el ámbito que se desea potenciar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el soporte de todo el profesorado de Ingeniería Electrónica del Departamento de Ingeniería Electrónica y Biomédica de la Universidad de Barcelona que ha participado en el diseño e implementación de actividades. También agradecemos el soporte del Personal Técnico del Laboratorio de Prototipos para la realización de las placas-obsequio, control y puesta a punto de los equipos y plataformas tecnológicas.

REFERENCIAS

- [1] European Schoolnet, “ICT in STEM Education - Impacts and Challenges: Setting the scene. A STEM Alliance Literature Review”, Brussels, Belgium, 2016. (<http://www.stemalliance.eu/ict-paper-1-setting-the-scene>)
- [2] M. Jane, “Routes to STEM: nurturing Science, Technology, Engineering and Mathematics in early years education”, *International Journal of Early Years Education*, 27:3, 219-221, 2019. (<https://doi.org/10.1080/09669760.2019.1653508>)
- [3] H.B. Gonzalez, “An analysis of stem education funding at the NSF: Trends and policy discussion”, CRS Report for Congress, R42470, Library of Congress. Congressional Research Service, 2014. (<https://www.hsdl.org/?view&did=750362>)
- [4] FECYT, Obra Social “la Caixa” y Everis, ¿Cómo podemos estimular una mente científica? Estudio sobre vocaciones científicas, 2015, (<https://www.fecyt.es/es/publicacion/como-podemos-estimular-una-mente-cientifica>)
- [5] DigitalES, “El desafío de las vocaciones STEM. Por qué los jóvenes españoles descartan los estudios de ciencia y tecnología”, 2019. (<https://www.digitales.es/wp-content/uploads/2019/09/Informe-EL-DESAFIO-DE-LAS-VOCACIONES-STEM-DIGITAL-AF-1.pdf>)
- [6] CRUE, “La Universidad Española en Cifras 2017-2018”, Cap. 3, 2019. (http://www.crue.org/Documentos%20compartidos/Publicaciones/Universidad%20Espa%C3%B1ola%20en%20cifras/UEC%201718_FINAL_DIGITAL.pdf)
- [7] S. Mateos Sillero y C. Gómez Hernández, “Libro Blanco de las mujeres en el ámbito tecnológico”, Secretaría de Estado para el Avance Digital, Ministerio de Economía y Empresa, Marzo 2019 (<https://www.mineco.gob.es/stfls/mineco/ministerio/ficheros/libreria/LibroBlancoFINAL.pdf>)

Sistema IoT para el análisis de calidad de aguas

Enrique Soto Campos
Departamento Tecnología Electrónica
Instituto de Electrónica Aplicada
Universidad de Vigo
Vigo, España
esotoc@uvigo.es

Rafael Verdugo Matés
Departamento Tecnología Electrónica
Universidad de Vigo
Vigo, España
rverdugo@uvigo.es

Diego Castillo Fernández
CTAG – Centro Tecnológico de
Automoción de Galicia
Vigo, España
diegocastillofernandez@gmail.com

Abstract— Esta comunicación presenta un sistema de medida de la calidad de las aguas mediante una red de sensores conectados al servicio de comunicación y almacenamiento Sigfox. Este servicio constituye la forma más económica de realizar un sistema IoT de área ancha.

Keywords— IoT, Sigfox

I. INTRODUCCIÓN

Esta comunicación describe el “Trabajo Fin de Grado” de un alumno del Departamento de Tecnología Electrónica que trabajó en colaboración con un grupo del departamento de Ingeniería Química.

La contaminación del agua, también conocida como contaminación hídrica, se suele definir como la acumulación de elementos externos a la naturaleza de ese medio, que en el caso objeto de este estudio es el agua. La introducción de estas nuevas sustancias, acarrea un cambio en el medio contaminado, y puede llegar a ser perjudicial para el equilibrio vital de los seres vivos que tienen alguna relación con él.

De forma general, la contaminación de las aguas es producida por actividades humanas. La industrialización y el consumo desmesurados presente en la sociedad actual, dan lugar a una gran generación de residuos. Estos desechos en gran medida no son depositados ni recogidos en un lugar adecuado para su posterior tratamiento, por lo que acaban contaminando las aguas.

Por lo general se suele hacer una clasificación en cuanto a donde se origina la contaminación del agua.

Si el foco contaminante es conocido, se dice que la fuente es puntual. Ejemplos claros de este tipo de contaminación son las tuberías que vierten residuos, un pozo de petróleo...

Sin embargo, si el foco contaminante no se puede determinar de una forma clara, decimos que la fuente es difusa. Un ejemplo claro sería un agente contaminante desplazado por un río.

Con respecto a los tipos de contaminación del agua, esta, se puede ver afectada, por compuestos minerales, los cuales pueden condicionar a las propiedades organolépticas del agua o incluso producir el desarrollo de las algas y la eutrofización.

Otras veces, la contaminación, viene de la mano de compuestos orgánicos (hidrocarburos, detergentes, etc...), compuestos microbiológicos (fenoles, bacterias, etc...) o factores que alteran la temperatura del agua.

El requisito fundamental por parte del peticionario es que el sistema elegido para las comunicaciones permita el envío de datos, desde un punto sin garantía de acceso a redes Wifi o GSM ni corriente eléctrica. Por otra parte, se especifica que no se tendrá conexión a la red eléctrica, por lo tanto, el

segundo objetivo es desarrollar un sistema de alimentación mediante baterías recargadas con energía solar. Otro de los objetivos consiste en recoger la información capturada de los sensores. Los objetivos posteriores son las configuraciones de todas las herramientas necesarias para hacer la comunicación posible. Esto incluye la programación del hardware y de las plataformas hacia las que se redirecciona la información.

Todo estos requisitos que se plantean pueden ser atendidos siguiendo los principios del IoT (Internet of Things) [1] [2] por lo que solucionaron haciendo uso de los recursos disponibles en esta tecnología. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 1.



Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema

II. ELEMENTOS DEL SISTEMA

A. Sensores

Los sensores utilizados son: temperatura, pH y conductividad.

La contaminación térmica se produce por variaciones de temperatura que alteran perjudicialmente la calidad del agua, lo que supone una disminución de la solubilidad del oxígeno del agua, necesario para los seres vivos que se nutren de oxígeno. Se emplea el sensor DS18B20 que proporciona mediciones de temperatura Celsius de 9 a 12 bits. El DS18B20 se comunica a través de un bus de 1 cable que, por definición, requiere solo una línea de datos (y tierra) para la comunicación con un microprocesador central. Además, el DS18B20 puede derivar energía directamente de la línea de datos ("energía del parásito"), eliminando la necesidad de una fuente de alimentación externa [3][4].

El pH marca la concentración de iones de hidrógeno que se encuentran en una disolución. Es un indicador de acidez o alcalinidad. Un pH neutro favorece la supervivencia de microorganismos en el agua, y a su vez, la inexistencia de estos, que equivale a un aumento o disminución del pH, pueden indicar una baja calidad del agua, o que esta muestre algún tipo de anomalía. Por lo tanto, un pH alterado puede dar lugar a una situación desfavorable para la biodiversidad. Se utiliza el módulo PH-4502C que es un dispositivo que permite medir el PH con ayuda de un electrodo como el E201-BNC para el cual esta reservado un conector BNC [5].

La conductividad, es la facilidad que presenta el agua para permitir el paso de corriente eléctrica a través de ella. Esto depende directamente de la concentración de iones. En las masas de agua dulce, la conductividad está determinada principalmente por la geología del terreno que la contiene. El rango de conductividad del agua dulce varía entre 50 y 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para la medición de este parámetro se utiliza el medidor de conductividad eléctrica analógico DFR0300 (con compensación de temperatura) [6].

B. Sistema de comunicaciones

La velocidad necesaria de envío de datos es baja, ya que las magnitudes a medir cambian su valor de forma lenta, por lo que no es necesario reflejarlo a tiempo real en el punto de visualización.

Por lo tanto, se puede deducir que este sistema necesita una gran área de cobertura, que permita el envío de los datos independientemente de la zona desde la que se transmitan, y no es necesario que la velocidad del envío sea alta, lo que permite reducir el consumo de energía.

Otra característica a tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema, es la relativa al punto de acceso a los datos recogidos. La estructura óptima es aquella que aporta flexibilidad de lectura y trabaja desde cualquier lugar en cualquier tipo de dispositivo con los valores muestreados.

La búsqueda del sistema de comunicaciones óptimo se centra en las redes IoT (Internet of Things) (figura 2). Este campo reciente dentro de las telecomunicaciones hace alusión a aquellos sistemas diseñados para intercomunicar objetos entre sí. Son tecnologías ya nacidas y diseñadas para suplir las especificaciones propias de un sistema IoT. Por lo tanto, tienen un gran alcance de cobertura, y unos consumos y precios muy bajos. Destacan dos sistemas dentro de esta clasificación, las redes LoRa [7] y las redes SigFox [8].

Ambas son consideradas redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) y UNB (Ultra Narrow Band). Los dos términos hacen referencia a las características ya mencionadas con anterioridad. Por otra parte, las redes LPWAN trabajan en las bandas de radiofrecuencia ISM, que están reservadas para su uso no comercial, por lo que no es necesario un pago para utilizarlas.

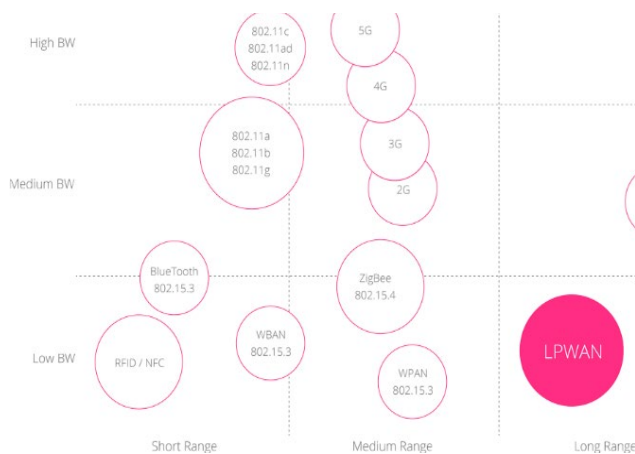


Fig. 2. Relación entre ancho de banda y alcance

La tecnología LoRa, patentada por Semtech, se encarga del nivel físico. Se utiliza la técnica del espectro ensanchado,

mediante radiofrecuencia y envía la información punto a punto entre módulos compatibles con este sistema. El envío de la información tiene un gran rango de alcance, llegando hasta los 20 km en condiciones óptimas.

Una vez que se supera la capa física, se alcanza la capa de red. Este segundo nivel recibe el nombre de LoRaWan (figura 3), cuya función es gestionar la comunicación entre los dispositivos y controlar los canales y sus parámetros: Ancho de banda, cifrado, etc... Como punto adverso, los sistemas LoRaWan emplean un concentrador para realizar la comunicación entre los sensores y el servidor en la nube. La parte negativa radica en que estos concentradores tienen un precio relativamente elevado y son complejos de fabricar.

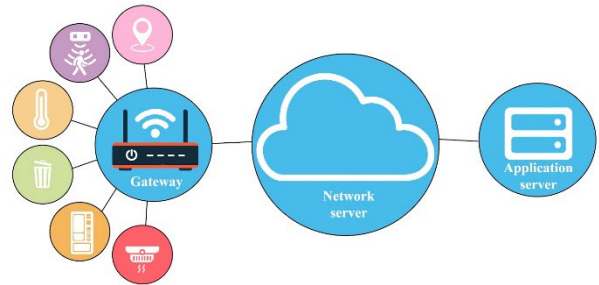


Fig. 3. Esquema de conexión mediante LoRaWan

Sigfox comparte las características propias de los sistemas LPWAN. Por lo tanto, es muy similar a LoRa en cuanto a prestaciones, pero es lo opuesto en cuanto a necesidades para su puesta en funcionamiento. SigFox no necesita de concentradores ni de aplicaciones externas a las que redirigir la información. Ya que todo esto ya lo aporta la propia compañía a cambio de una suscripción mensual de bajo coste. El gran inconveniente, además, del pago de los servicios, es que existe un número límite de mensajes que se pueden enviar diariamente. Con el pago de la suscripción a su servicio, mediante un módulo compatible con él, se pueden enviar un máximo de 140 mensajes de hasta 12 bytes cada uno. Por lo tanto, cada 10 minutos aproximadamente se pueden actualizar los valores muestreados por el sistema. Es un intervalo de tiempo suficientemente pequeño como para tener un control preciso de las magnitudes que se quieren medir, ya que estas cambian su valor lentamente respecto al tiempo.

C. Control

La gama MKR de Arduino son una serie de placas que ofrece la compañía. Destacan por reducir el tamaño y la tensión con la que trabajan buscando la eficiencia, lo que las hace ser las seleccionadas en muchas ocasiones para proyectos IoT.

El Arduino MKR FOX 1200 [9] (figura 4), está conformado principalmente por un microcontrolador de la familia SAMD21 y un módulo que proporciona la conectividad a la red de Sigfox, el ATA8520. Para que este último módulo haga el envío del mensaje a la red de SigFox, es necesario conectar a la placa una pequeña antena que está incluida con su compra. En las especificaciones que da el fabricante, se puede ver que la placa funciona a 32 bits, con una tensión de 3,3 V y a una frecuencia de reloj de 48 MHz. En cuanto a conectividad, permite comunicaciones por UART, SPI o I2C. Otras características a destacar son sus memorias Flash y SRAM de 256 kB y 32 kB respectivamente.

Uno de los puntos positivos que tiene la compra de esta placa, es que incluye una suscripción gratuita al servicio de Sigfox de 2 años, por lo que su precio queda amortizado únicamente por este ahorro, ya que el precio de la suscripción anual es de poco menos de 20 euros.

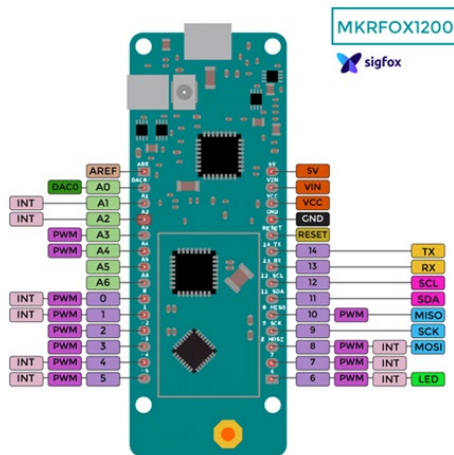


Fig. 4. Terminales del Arduino MKR FOX 1200

D. Alimentación

Dado que el prototipo debe funcionar de forma continua durante un largo periodo de tiempo, es necesario reducir su consumo al máximo. Con esto, se busca que el aporte de energía por parte de un panel solar, en buenas condiciones lumínicas sea superior a las demandas de corriente del sistema.

El circuito desarrollado tiene dos etapas muy diferenciadas. La primera, se puede considerar la etapa activa, ya que en ella se recoge la información y se redirige al siguiente lugar de interés. En la segunda etapa, únicamente está esperando un tiempo determinado para poder renovar nuevamente el valor de las variables medidas.

En la etapa activa, los consumos son los que soliciten los sensores para hacer las medidas, el de la placa de Arduino y el del módulo de SigFox para realizar el envío de la información. Estos gastos se optimizan mediante la programación y por la selección del sistema de comunicaciones eficiente.

En la etapa de espera, es donde realmente se puede reducir el gasto de energía, ya que, por cada 10 minutos de espera, son unos 15 segundos de envío de etapa activa.

Para conseguir estas temporizaciones se utiliza el temporizador TPL5110. Este pequeño circuito integrado, está desarrollado pensando en reducir al máximo los consumos. Para ello, mediante un MOSFET, alimenta o corta la alimentación del resto del montaje, siempre teniendo cuidado en el encendido y apagado del proyecto. Por lo tanto, en los momentos de espera el único módulo que consume energía es este temporizador y la placa sobre la que está montado.

Para dimensionar la placa solar [10] es necesario hacer unos cálculos basados en el consumo de los componentes (figura 5) y radiación solar del lugar en que se encuentre el sistema. Dichos cálculos dieron que un panel de 140 cm² cuyas especificaciones de tensión y potencia son 6V y 2W respectivamente cumplía sobradamente.

Por otra parte, para mantener la tensión en los momentos en lo que no existe luz solar como las noches o los días nublados, es necesario el uso de una batería que almacene la corriente generada durante los días soleados y la ceda en los momentos que sea necesario. Para este proyecto se decidió usar una batería tipo LiPo [11].

	Tiempo (s)	Corriente (µA)	Tensión (V)	Potencia media (W)
Etapa de temporización	720	20	3,3	-
Etapa activa	15	60000	3,3	-
Valor medio	-	1250	3,3	0,004

Fig. 5. Tabla de consumos según fase de actuación.

Este tipo de baterías se suelen usar en proyectos de electrónica por la facilidad que supone trabajar con ellas. Existen multitud de módulos preparados para su carga y descarga. Además, otras características como su gran adaptabilidad a espacios (ya que se puede llegar a deformar), o su ligereza, las hacen muy demandadas. Para el cargador se ha seleccionado el “Solar LiPo charger” de la marca dfrobot mostrado. Este cargador permite interconectar la batería LiPo, el panel solar y el circuito que se quiere alimentar, de forma que es capaz de cargar la batería mediante el panel solar a la vez que también permite darle tensión al circuito.

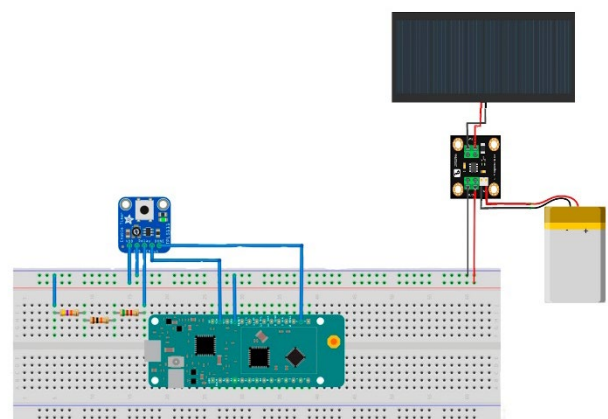


Fig. 6. Arduino MKR FOX 1200 conectado al temporizador, placa solar, cargador y batería LIPO.

E. Montaje del equipo

Para este proyecto se ha seleccionado una caja con un grado de protección IP 65. Lo que supone que el circuito es totalmente estanco al polvo y tiene protección contra chorros de agua que es importante a la hora de colocar el sistema en su destino final (figuras 7 y 8).

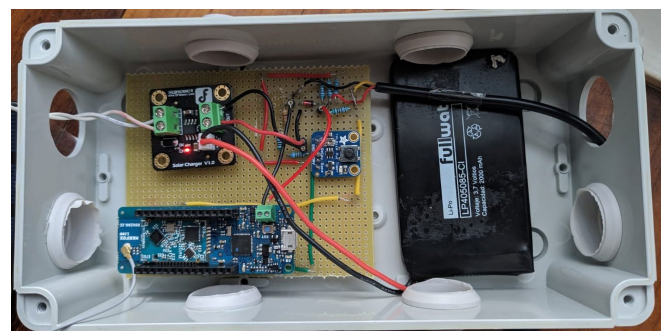


Fig. 7. Disposición componentes en caja IP65.



Fig. 8. Equipo completo.

III. DESARROLLO DEL SISTEMA

En un primer punto se programa la placa de Arduino para que lea los sensores y envíe a través de la red de SigFox la información obtenida hasta el siguiente punto en su camino hasta llegar al usuario final (figura 9).

Una vez que la información abandona la placa, los datos viajan hasta una antena de la compañía que proporciona el servicio de telecomunicaciones, publicando los resultados recibidos en el 'back-end' de SigFox. Esta plataforma es consultable teniendo acceso a la cuenta de SigFox que se incluye con la suscripción.

Aunque los datos ya se pueden recoger en esta plataforma, la visualización de la información se hace difícil. Es esta la razón por la que los datos se redireccionan hacia un servicio de almacenamiento y tratamiento de la información especializado en IoT. En este caso se selecciona la plataforma "ThingSpeak".

Una vez los datos se encuentren disponibles en esta página, el usuario puede tener acceso a los datos a través de las aplicaciones 'front-end' diseñadas y seleccionadas. Aportando la máxima comodidad para la correcta interpretación de la información.

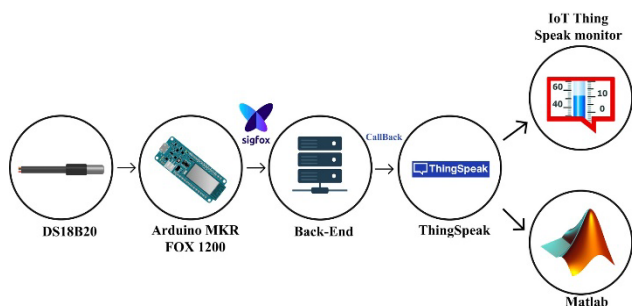


Fig. 9. Esquema general del funcionamiento del sistema.

A. Programación Arduino

Para facilitar la programación de este apartado, se emplean bibliotecas (library) públicas que se encargan de las tareas más complejas, como puede ser recibir la información del protocolo del sensor o enviar los datos a SigFox. En concreto se emplean:

- Biblioteca OneWire: Facilita la comunicación con el protocolo 1-wire con el que funciona el DS18B20.
- Biblioteca DallasTemperature: Se trata de una biblioteca (library) especializada en el sensor de temperatura.
- Biblioteca SigFox: Facilita los comandos para interactuar con la red de la compañía y hacer los envíos de los mensajes.

B. Sigfox

En primer lugar, para poder ver el valor real con decimales en las distintas zonas de redireccionamiento de la información, se ha elegido enviar cada una de las variables como 'float', esto supone que cada dato ocupa un total de 32 bits, es decir, 4 bytes. Por lo tanto, con el valor de la temperatura, el pH y la conductividad, ya se emplea el tamaño de mensaje máximo que permite enviar el sistema de SigFox.

En el propio 'back-end' ya se pueden visualizar los valores en la sección de mensajes. Sin embargo, los datos llegan en forma de una cadena de 12 bytes en hexadecimal 'little endian' (bits menos significativos primero). Esto hace que los valores sean complicados de reconocer a simple vista. Para solucionarlo, la plataforma permite personalizar los mensajes recibidos, de forma que se secciona la cadena de 12 bytes en los valores indicados. Para personalizar el mensaje recibido hay que seleccionar el tipo de dispositivo que se quiera personalizar y entrar en editar. Dentro de esa pantalla, existen múltiples opciones de edición, sin embargo, la que interesa, es la que recibe el nombre de 'Payload display'.

En este apartado, se permite especificar que se usará una estructura personalizada para dividir los mensajes recibidos. La forma en la que se seccionen los mensajes se determina siguiendo la siguiente estructura:

Nombre de la variable: Byte de inicio: Tipo de dato: Tipo de endian

Como se puede ver en la figura 10, se sigue la estructura que se acaba de mencionar para dividir los 12 bytes en 3 variables con sus respectivos nombres. De esta forma, en la sección de los mensajes recibidos se especifica el valor de cada variable en decimal bajo la cadena en hexadecimal.

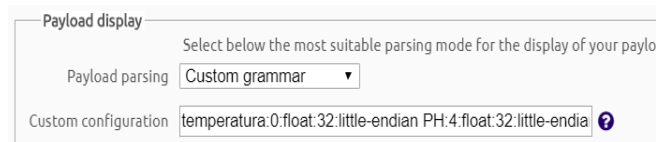


Fig. 10. Payload display.

En este momento ya se podría usar el 'back-end' (figura 10) para visualizar la información. Sin embargo, el manejo de esta página no es intuitiva ni cómoda. Por lo tanto, se decide redirigir la información a otro lugar que almacene la información y permita visualizarla y trabajar con ella con facilidad.

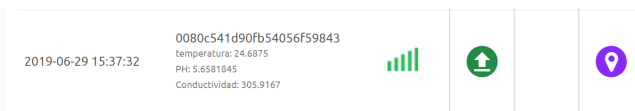


Fig. 11. Mensaje Sigfox 'back-end'.

Para redirigir la información de forma automática cada vez que llega un mensaje, se debe configurar la sección de “Callbacks” que existe en el ‘back-end’. En esta sección se especifica a donde se quiera enviar la información, además de las APIs que controlan estas acciones.

Para crear una ‘Callback’ nueva hace falta entrar en esa sección editando el tipo de dispositivo. Posteriormente se selecciona crear una ‘Custom callback’, lo que da acceso al menú para editar sus características (figura 12).

Fig. 12. Edición de ‘call-back’.

Para configurar esta sección, se tienen que completar los siguientes apartados:

- **Type:** Especifica el tipo de dato que se va a transmitir. Las opciones a escoger son:
 - **DATA:** Quiere decir que la información enviada es un dato. Se puede seleccionar si el dato es solo de subida (esta es la opción seleccionada), o bidireccional, donde se espera una respuesta por parte de la página hacia la que se redirige la información.
 - **ERROR:** Advierte de posibles fallos en la comunicación.
 - **SERVICE:** El mensaje redireccionado se trata de servicios como la geolocalización o una confirmación de que el envío fue correcto.
- **Channel:** Especifica qué tipo de canal se usa para enviar los datos, como por ejemplo por URL o por correo electrónico.
- **Custom Payload Config:** Se configura como se secciona el mensaje en las distintas variables que contiene. Su estructura es la misma que la mostrada en la Ilustración 65.
- **URL Pattern:** Define la llamada a la plataforma que se va a emplear para redirigir la información. Los datos a introducir en esta sección se obtienen de la página a la que se redirigirá la información.
- **HTTP Method:** Se emplea para especificar el método HTTP usado. En este caso se emplea GET, ya que la

página a la que se redirige la información es la que se encarga de solicitarla.

A continuación hay que seleccionar el destino de la información. Teniendo en cuenta las características de este trabajo podría ser una plataforma gratuita de IoT como son Thinger.io, Arduino Cloud, Cayenne.

C. ThingSpeak

En el caso concreto de este proyecto se ha decidido que la plataforma a la que se envíen los datos sea ThingSpeak. Se trata de la apuesta por parte de MathWorks [12] al mundo del IoT, por lo que existe una extensa documentación además de ser una de las plataformas más usadas en este tipo de proyectos IoT ya que permite visualizar la información de manera sencilla y contar con un gran número de programas externos que interaccionan con esta página, como por ejemplo el propio Matlab.

Para empezar a usar la página es necesario crear una cuenta. En caso de que el proyecto no sea comercial, como es el caso, el uso de los servicios que aporta la plataforma es totalmente gratuito, con algunas limitaciones respecto la versión de pago. Sin embargo, si se desea hacer un uso comercial del servicio es necesario pagar una suscripción a este servicio.

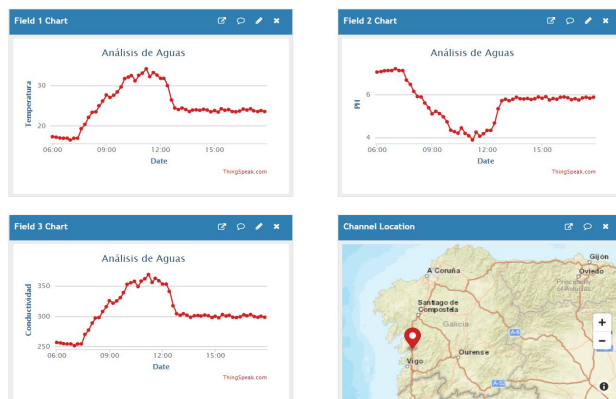
Una vez se dispone de la cuenta, se procede a crear un nuevo canal, donde se almacenan las distintas variables que se recogen del ‘back-end’. Cada canal dispone de un menú con distintos apartados, siendo los más destacados los de ajustes, los de visualización y el de las claves API.

Para poder recoger la información almacenada en el canal o para publicarla en el mismo, es necesario el uso de unas claves exclusivas para cada canal que se generan de forma automática. Para facilitar el intercambio de información entre distintos programas, en el apartado de claves API se generan los ‘API request’, siendo uno de ellos el que se usa como modelo para completar el ‘URL Pattern’ de la configuración del callback de SigFox.

En el apartado de ajustes se pueden personalizar distintas características. Por ejemplo, se permite editar el nombre y la descripción del canal, así como los campos en los que se divide la información que se almacenan en este. También se puede añadir información extra como por ejemplo la localización del origen de los datos.

En los apartados de visualización se puede interpretar la información mediante gráficas y ‘widgets’ configurables. Por cada campo configurado en los ajustes del canal se genera una nueva gráfica como las mostradas en la figura 13. En esta misma sección se permite introducir un cuadro con la localización especificada en los ajustes.

En la sección de ‘Sharing’ se puede seleccionar si la información del canal es visible por todo el mundo, si solo lo pueden ver tus seguidores o si únicamente lo puede ver el propietario de la cuenta. Es por ello que existen dos pestañas de visualización, una para lo que puede ver el propietario y otra para lo que puede ver un usuario externo.

Fig. 13. Gráficas the *ThingSpeak*.

ThingSpeak es una plataforma accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet y con una interpretación de la información directa y visual, lo que facilita que cualquier persona la consulte. Sin embargo, no da opción a consultar la información de un periodo de tiempo concreto o de comparar distintos resultados. Por otra parte, la visualización de la información en dispositivos móviles no está demasiado bien optimizada. Por todo esto, se ha decidido que la etapa final de visualización no sea directamente la página de *ThingSpeak*.

D. Matlab

Como la plataforma de *ThingSpeak* es de la misma compañía que Matlab, ya existen instrucciones para solicitar los datos a un canal concreto conociendo su 'ID' y su 'API Key'. Por lo tanto, resulta sencillo consultar la información almacenada en un periodo concreto de tiempo. Es por ello que se ha decidido usar este programa para crear la aplicación que usará el usuario final.

El diseño de la aplicación se hizo mediante interfaces gráficas, es decir mediante el apartado de GUI del que dispone Matlab. En este apartado dentro de Matlab se permite arrastrar hasta el área de trabajo distintos componentes, como botones, gráficas, bloques de texto... De forma que permite programar las acciones que realiza el programa una vez se interacciona con alguno de estos elementos.

Al iniciar la aplicación se despliega un menú con únicamente tres botones. Cada uno de ellos despliega una interfaz con distintas funcionalidades para adaptarse a los requerimientos del usuario: Visualizar, Comparar y Tabla de Datos.

En el programa de visualizar se despliega una interfaz donde se tienen 3 apartados diferenciados (figura 14):

- El primero es el recuadro donde se selecciona el intervalo de tiempo del que se va a demandar los datos recogidos. Este recuadro tiene dos tipos de funcionamiento, el modo 'Básico' y el modo 'Personalizado'.

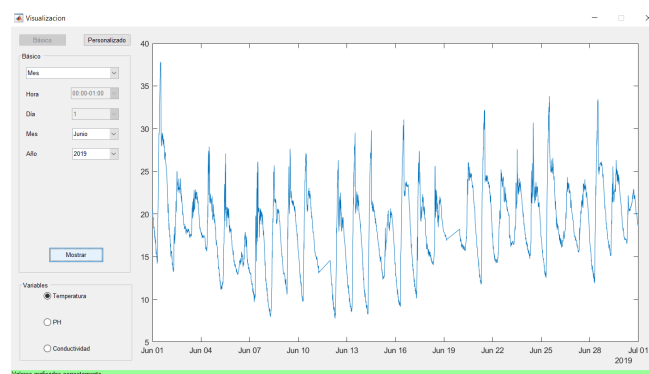
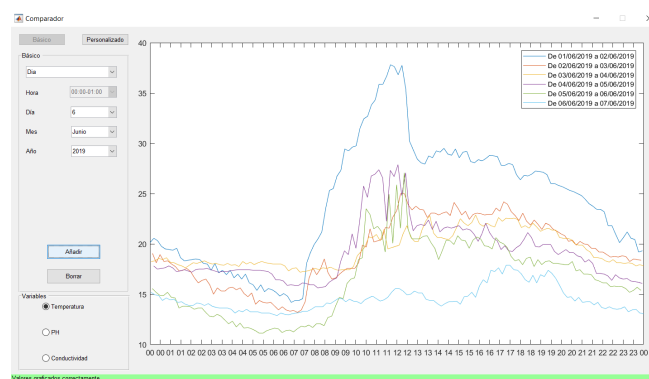
- El recuadro inferior incluye la opción de elegir que dato se desea ver gráficamente. Únicamente se permite ver una de las variables a la vez ya que para ver más de una gráfica a la vez existe otra interfaz distinta.

- El tercer recuadro es la gráfica que se dibujará con las especificaciones de los otros dos recuadros una vez se pulse el botón mostrar.

El modo comparador es similar al modo visualización, pero tal y como su nombre indica, está enfocado a tener varios valores simultáneamente, de forma que se puedan comparar a simple vista los resultados obtenidos (figura 15).

La tabla de datos (figura 16) comparte con los apartados previos únicamente el cuadro de la selección del rango de tiempo y la barra de estado. En lugar de una gráfica, cuando se pulsa el botón mostrar se pasan a un formato de tabla todos los datos recogidos durante el tiempo seleccionado. En la tabla se crea una entrada por cada medición. Una medición incluye el instante en que se realizó y los valores de las tres variables en ese instante.

Una vez que se ha muestreado la información, se activan en el cuadro de la zona inferior dos nuevos botones. En ellos se puede solicitar guardar los datos de la tabla en formato CSV, que es compatible con Excel, o bien en formato .mat que es compatible con Matlab. De esta forma el registro de valores queda a disposición absoluta del usuario de la aplicación, lo que le permite hacer con ellos lo que considere necesario.

Fig. 14. Modo Visualizador *Matlab*.Fig. 15. Modo Comparador *Matlab*.

	Fecha	Temperatura	PH	Conductividad
1	06-Jun-2019 05:03:38	13.2500	7.7932	209.6667
2	06-Jun-2019 05:14:47	13.2500	7.7932	222.6667
3	06-Jun-2019 05:25:55	13.1250	7.8166	229.8333
4	06-Jun-2019 05:37:03	13.1250	7.8166	226.8333
5	06-Jun-2019 05:48:12	13.1250	7.8166	212.8333
6	06-Jun-2019 05:59:19	13	7.8399	211.0000
7	06-Jun-2019 06:10:28	12.8750	7.8632	217.1667
8	06-Jun-2019 06:21:37	13.1250	7.8166	225.8333
9	06-Jun-2019 06:32:45	13	7.8399	229.0000
10	06-Jun-2019 06:43:53	12.9375	7.8516	207.5833
11	06-Jun-2019 06:55:00	13.0625	7.8282	215.4167
12	06-Jun-2019 07:06:09	13.1250	7.8166	222.8333
13	06-Jun-2019 07:17:17	13.1875	7.8049	211.2500
14	06-Jun-2019 07:28:25	13.3125	7.7816	207.0833
15	06-Jun-2019 07:39:33	13.3125	7.7816	230.0833
16	06-Jun-2019 07:50:42	13.5000	7.7466	228.3333
17	06-Jun-2019 08:01:50	13.7500	7.6999	233.0000
18	06-Jun-2019 08:12:58	13.7500	7.6999	212.0000
19	06-Jun-2019 08:24:06	13.7500	7.6999	211.0000
20	06-Jun-2019 08:35:14	14.1250	7.6299	226.5000
21	06-Jun-2019 08:46:23	14.0625	7.6416	215.0833
22	06-Jun-2019 08:57:31	14.3125	7.5949	241.7500
23	06-Jun-2019 09:08:39	14.5625	7.5482	217.4167
24	06-Jun-2019 09:19:47	14.5625	7.5482	217.4167
25	06-Jun-2019 09:30:56	14.2500	7.6066	216.3333
26	06-Jun-2019 09:42:03	14.5000	7.5599	236.0000
27	06-Jun-2019 09:53:11	14.3125	7.5949	240.7500

Fig. 16. Modo Tabla de datos *Matlab*.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo muy interesante explica el desarrollo de un sistema de adquisición para la medida de variables ambientales que permiten estudiar la contaminación hídrica y, en concreto, la temperatura, conductividad y pH de aguas bajo estudio (ríos, presas, etc.). El resultado es una herramienta de bajo coste y utilidad en el estudio de la contaminación.

Desde el punto de vista docente el trabajo es importante porque establece la relevancia de los sistemas de telecomunicaciones en los grados de ingeniería industrial.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO) (Proyecto CTM2017-87326-R).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. B. Andrés, Internet de la cosas, Reus, 2018.
- [2] *Plataformas IoT*: <https://secmotic.com/plataforma-iot/>.
- [3] https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-de-temperatura-ds18b20.html
- [4] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [5] <https://www.botshop.co.za/how-to-use-a-ph-probe-and-sensor/>.
- [6] https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Electrical_Conductivity_Sensor_Meter_V2_K%3D1_SKU_DFR0300
- [7] <https://lorawan.es/>
- [8] <https://www.sigfox.com/en>
- [9] <https://store.arduino.cc/arduino-mkrfox1200>
- [10] M. Boxwell, Solar Electricity Handbook – 2019 Edition: A simple, practical guide to solar energy – designing and installing solar photovoltaic systems. Greenstream Publishing; Revised edition edition.
- [11] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Batteries/UnionBattery-2000mAh.pdf>
- [12] <https://es.mathworks.com/>

Aprendizaje de plataformas embebidas heterogéneas para responder a las nuevas necesidades computacionales de la Industria 4.0

Ignacio Angulo

*Departamento de Tecnologías Informáticas, Electrónicas
y de la Comunicación*
Universidad de Deusto
España
ignacio.angulo@deusto.es

Javier García-Zubía

*Departamento de Tecnologías Informáticas, Electrónicas
y de la Comunicación*
Universidad de Deusto
España
zubia@deusto.es

Abstract— Los nuevos requisitos computacionales y de procesamiento de datos que surgen dentro del concepto de la Industria 4.0 requieren que los fabricantes proporcionen nuevas arquitecturas diseñadas para estas nuevas necesidades. La incorporación de estas nuevas soluciones tecnológicas en los planes de estudios de postgrado facilita la generación de perfiles universitarios formados para liderar la transformación de la industria actual hacia una industria conectada. Esta comunicación presenta el desarrollo de dos asignaturas de máster centradas en el aprendizaje de la arquitectura Xilinx UltraScale de sistemas SoC heterogéneos mediante el desarrollo de un proyecto fundamentado en el paradigma del Edge computing.

Keywords—Sistemas embebidos, Diseño digital, System on Chip, Edge Computing, Industrial Internet of Things

I. INTRODUCCIÓN

El Máster Universitario en Automatización, Electrónica y Control Industrial, MUAECI, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto tiene como objetivo formar profesionales altamente cualificados en el ámbito industrial, capaces de participar en el diseño de los procesos de fabricación y control. Este máster proporciona una sólida base científico-técnica además de un conjunto de habilidades y destrezas transversales. Las características del máster permiten al egresado integrarse en la industria sin mayor adaptación además de darle la capacidad de asumir el reto de modernizar los procesos en los que se integre.

El Máster Universitario en Automatización, Electrónica y Control Industrial, MUAECI, constituye la adaptación al nuevo marco académico del ya extinto 2º ciclo de Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial de la Universidad de Deusto que formó durante más de una década profesionales con un alto grado de empleabilidad y de satisfacción, ya que más del 90% encontró trabajo en menos de tres meses con un salario por encima de la media. Esto se confirma en un estudio nacional publicado en 2019 [1] que indica que esta formación tecnológica se encuentra entre las primeras con mayor empleabilidad en España.

Para facilitar el acceso al mercado laboral, la Universidad de Deusto utiliza en el MUAECI la metodología “learning by doing”. La mejor forma de aprender tecnología es practicando con ella: moviendo robots, programando sistemas electrónicos o controlando plantas industriales y sistemas de producción.

Respecto a otros másteres especializados en un área específica de la electrónica, la automatización o control industrial, el MUAECI ofrece una formación horizontal articulada en cinco áreas fundamentales cada una de las cuales distribuida en dos asignaturas:

- Electrónica industrial
 - Diseño avanzado de sistemas digitales
 - Sistemas embebidos avanzados
- Automatización
 - Automatización para industrias de proceso continuo y discreto
 - Redes de comunicación industriales
- Robótica
 - Visión artificial
 - Robótica industrial
- Electrónica de potencia
 - Sistemas electrónicos de potencia
 - Control en tiempo real de dispositivos industriales
- Control industrial
 - Control industrial aplicado
 - Control avanzado y multivariable

Dado el carácter tecnológico del MUAECI las asignaturas de cada área utilizan la estrategia compartida de aprendizaje basado en proyectos (ABP) [2][3] para estimular el aprendizaje activo y el trabajo colaborativo y distribuir uniformemente la importante carga práctica que los estudiantes deben desarrollar durante el máster [4][5].

La presente publicación se centra en las asignaturas que integran el área de Electrónica Industrial presentando el programa de ambas asignaturas, la tecnología utilizada durante su impartición y la metodología conjunta empleada. El MUAECI es un máster de 60 créditos ECTS que se imparte en un único año, Ambas asignaturas se imparten en semestres consecutivos, imponiendo un sistema de evaluación independiente para cada una, pero manteniendo el objetivo común de proporcionar al estudiante conocimiento avanzado en las nuevas tecnologías que se requieren para cumplir con las necesidades de implantación de nuevos sistemas de electrónica industrial detectados en la industria actual.

II. RELEVANCIA DEL EDGE COMPUTING EN LA INDUSTRIA

La industria 4.0 puede considerarse la revolución industrial del siglo XXI y la supervivencia de la industria actual dependen en gran manera de la capacidad de adecuación a las nuevas tecnologías que garantizan mantener la competitividad en plena transformación digital de la sociedad [6]. Las exigencias de personalización de los clientes actuales requerirán capacidades de fabricación determinadas por la inteligencia artificial, el aprendizaje de las máquinas y las tecnologías de automatización vinculadas a la ciencia de datos. Esta nueva revolución industrial requiere tecnologías capaces de transformar la gestión de los sistemas facilitando su interconexión y proporcionando altas capacidades de computación. Esas empresas requerirían una mano de obra calificada para mejorar y hacer funcionar herramientas y sistemas de fabricación avanzados e investigar los datos adquiridos desde las propias instalaciones industriales, dando lugar a una creciente necesidad de empleados capacitados que necesitarán nuevas competencias para hacer frente a los nuevos procesos y tecnologías de la información [7].

La computación en la nube ha dominado el discurso de la tecnología de la información en la última década. Sin embargo, las tecnologías y aplicaciones nacientes para la informática móvil y la Internet de las Cosas (IoT) están impulsando la informática hacia la dispersión. Edge Computing es un nuevo paradigma en el que se colocan importantes recursos informáticos y de almacenamiento próximos a los sistemas que generan la información. En un contexto industrial el Edge Computing aporta cuatro ventajas fundamentales [8]:

- La proximidad física entre el sistema que genera los datos y el que los procesa facilita reducir la latencia, el ancho de banda y el rendimiento necesario de la infraestructura en la nube.
- Escalabilidad a través de análisis distribuido. La demanda de ancho de banda de entrada en la nube ante una gran colección de sensores generadores de gran volumen de información, como cámaras de vídeo, se reduce considerablemente si el análisis principal de los datos se desarrolla directamente en el dispositivo reduciendo el volumen de datos enviado a la información agregada y los metadatos extraídos.
- La aplicación de la política de privacidad. Al servir como el primer punto de contacto en la infraestructura para los datos de los sensores, el paradigma Edge Computing facilita el cumplimiento de las políticas de privacidad previamente al envío de los datos a la nube.
- Dependencia con infraestructura externa. Ante un fallo en la infraestructura en la nube o ante un fallo en las comunicaciones, en el servicio Cloud, o ante un ataque, un servicio de emergencia directamente en la propia instalación puede enmascarar temporalmente el fracaso e impedir la interrupción de la producción.

Estos nuevos requisitos computacionales y de procesamiento de datos que surgen dentro del concepto de la

Industria 4.0 y del paradigma del Edge Computing requieren que los fabricantes proporcionen nuevas arquitecturas diseñadas a medida para cubrir estas nuevas necesidades. La incorporación de estas nuevas soluciones tecnológicas en los planes de estudios de postgrado facilita la generación de perfiles universitarios formados para liderar a transformación de la industria actual hacia una industria conectada.

La familia de dispositivos hardware escogida para el desarrollo de la asignatura es la gama de SoC (System On Chip) heterogéneos UltraScale+mpsoc de Xilinx [9]. Estos dispositivos integran en un mismo sistema una potente FPGA junto con un sistema de procesamiento multinúcleo basado en los últimos procesadores ARM de la gama aplicación. Fig 1 muestra las características fundamentales del dispositivo Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC ZU3EG A484, elemento fundamental en el sistema de desarrollo utilizado en las asignaturas del área de electrónica industrial del MUAECI. Se pueden observar las características fundamentales del sistema de procesado “PS” (Processing System), interconectado con el sistema de lógica programable PL (Programmable Logic). Esta familia ha sido desarrollada por Xilinx, fabricante líder en dispositivos programables, para dar soporte a las necesidades de la filosofía Edge Computing [10] que persigue el procesamiento de los datos desde el mismo sistema que lo genera, en aplicaciones industriales, de conducción autónoma o destinadas al sector de la salud.

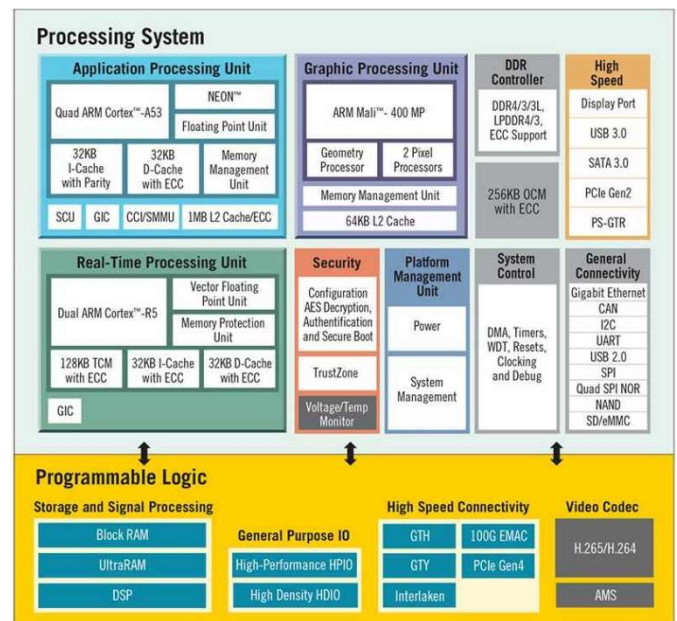


Fig. 1. Arquitectura de la familia Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC

El sistema de desarrollo utilizado en ambas asignaturas es el ULTRA96 (Fig 2). Este sistema es una placa de desarrollo que integra el Xilinx Zynq UltraScale+™ MPSoC, basada en la especificación Linaro 96Boards Consumer Edition (CE). Lejos de ser una herramienta didáctica, la ULTRA96 tiene una gran vocación industrial como demuestra el hecho de estar disponible en opciones de grado de temperatura industrial y disponer de un módulo de comunicaciones desarrollado por Microchip que ha sido certificado. Además, permite el control detallado de la energía consumida mediante un módulo Infineon Pmics incluido.

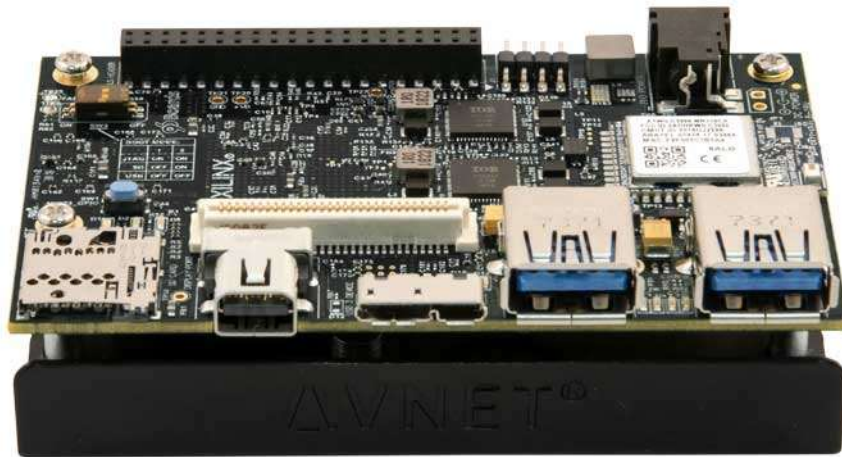


Fig. 2. Sistema de desarrollo Ultra96-V2

III. DISTRIBUCIÓN DE LAS ENSEÑANZAS

Como se ha indicado en el apartado I de esta publicación el área de electrónica industrial incluye dos asignaturas que se distribuyen secuencialmente en los dos semestres de duración del MUAECI:

A. Diseño avanzado de sistemas digitales

En esta asignatura los estudiantes diseñan el sistema hardware que conforma la lógica programable a la medida de un reto común cuya temática va variando a lo largo de las distintas promociones del MUAECI.

Desde el punto de vista competencial, esta asignatura colabora en el perfil del estudiante del MUAECI capacitando para dos competencias específicas:

1. Diseñar sistemas digitales avanzados basados en dispositivos lógicos configurables tipo FPGA mediante un lenguaje de descripción hardware.
2. Diseñar sistemas digitales basados en multiprocesadores y FPGA con lenguajes de descripción hardware y herramientas CAE.

Además, durante el desarrollo de esta asignatura se trabaja la competencia genérica de orientación al aprendizaje:

- Utilizar el aprendizaje de manera estratégica y flexible en función del objetivo perseguido en el ámbito de la ingeniería en automatización, electrónica y control industrial, integrando diversas teorías o modelos y haciendo una síntesis personal y creativa adaptada a las propias necesidades profesionales.

Durante el desarrollo de la asignatura los estudiantes deben llevar a cabo las siguientes actividades fundamentales:

1. Diseñar individualmente los diferentes bloques IP encargados de gestionar los distintos elementos hardware controlados por el sistema.

2. Integrar en un mismo sistema todos esos bloques individuales.
3. Validar el funcionamiento individual y colectivo del bloque funcional del sistema final.

La herramienta software fundamental sobre la que se desarrolla esta asignatura es Xilinx Vivado. Esta herramienta es la nueva apuesta de Xilinx para síntesis y análisis de diseños HDL, reemplazando a Xilinx ISE con características adicionales para el desarrollo del sistema en un chip y compatible con síntesis de alto nivel (HLS). En Vivado los estudiantes diseñan cada uno de los bloques lógicos funcionales mediante un lenguaje de definición de hardware (vhdl o verilog) o mediante lenguaje C utilizando las capacidades de síntesis de alto nivel (HLS).

Posteriormente, desarrollan un sistema que integra cada uno de los bloques diseñados individualmente. La Fig 3 incluye el diseño en bloque del sistema correspondiente al reto desarrollado durante el curso 2019-2020. Como puede observarse integra en un sistema los siguientes IP de lógica programable para la gestión de dispositivos:

1. Módulo de temperatura Dallas ds18b20
2. Puerto de Entradas y salidas de propósito General.
3. Motor de corriente continua
4. Motor paso a paso
5. Sensor de distancia SRF04
6. Servomotor
7. Divisor de frecuencia NCO
8. Registro de desplazamiento síncrono de alta velocidad

Finalmente, mediante la herramienta Xilinx SDK evalúan el comportamiento individual de cada IP y colectivo del sistema integral.

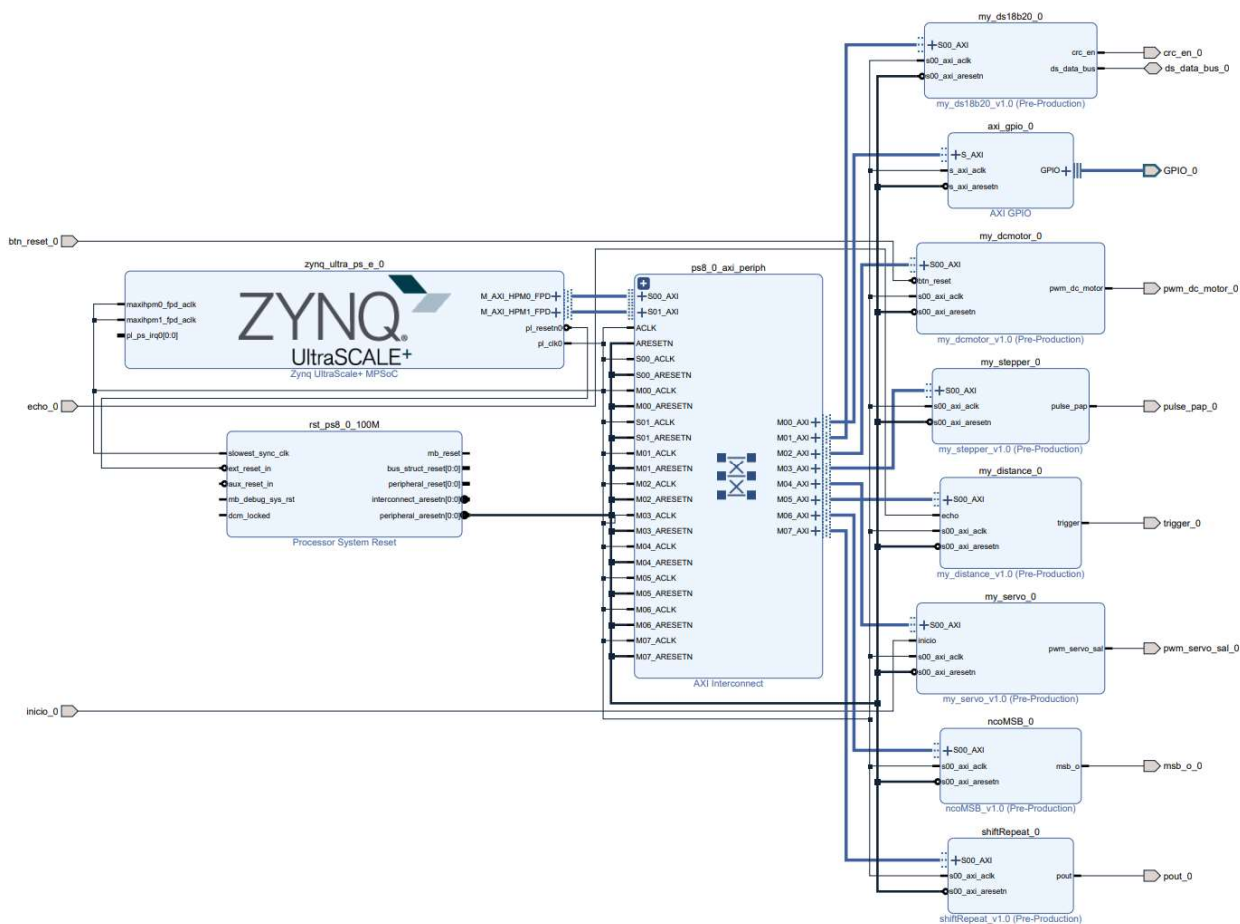


Fig. 3. Diseño funcional del sistema de lógica programable implementado durante la asignatura “Diseño avanzado de sistemas digitales”.

B. Sistemas embebidos avanzados

Durante el segundo semestre, a partir del bloque funcional diseñado en la asignatura de “Diseño avanzado de sistemas digitales”, se implementa el software embebido que permite al sistema de procesamiento implementar la lógica requerida para el desarrollo de un proyecto de control industrial sobre la maqueta didáctica desarrollada para implementar el reto planteado.

Desde el punto de vista competencial esta asignatura comparte la competencia genérica de “Orientación al aprendizaje” con la asignatura de “Diseño avanzado de sistemas digitales”. Además, lleva asociadas dos competencias específicas:

1. Diseñar sistemas embebidos basados en microprocesadores avanzados de 32 bits.
2. Integrar sistemas embebidos en entornos de fabricación avanzada mediante protocolos industriales.

Los apartados fundamentales de dicha asignatura son:

1. Desarrollo de una imagen Linux a medida para el sistema mediante el proyecto Yocto.
2. Desarrollo de los módulos del kernel de Linux que permiten el control de los bloques implementados en la parte de lógica programable.

3. Implementación de las aplicaciones encargadas de implementar la lógica requerida para el control de la maqueta.
4. Desarrollo de una aplicación de monitorización y control remoto mediante protocolos IoT de comunicación síncrona y asíncrona.

A lo largo de estas dos asignaturas, los estudiantes desarrollan todo el flujo de trabajo correspondiente a un sistema embebido teniendo en cuenta el co-diseño hardware-software [11][12][13].

Si durante la asignatura “Diseño avanzado de sistemas digitales” el esfuerzo se lleva a cabo sobre la parte PL del SoC (hw), en esta asignatura se trabaja fundamentalmente en el componente PS (sw) del mismo.

La asignatura de sistemas embebidos avanzados se desarrolla en dos fases. La primera consiste en preparar una imagen del sistema operativo creada a medida del sistema a desarrollar, mientras que durante la segunda los estudiantes desarrollan las aplicaciones destinadas a gestionar y monitorizar el comportamiento del sistema.

Para facilitar el desarrollo de la asignatura se utiliza el conjunto de herramientas Petalinux que permiten personalizar, construir y desplegar soluciones de Linux embebido en sistemas de procesamiento Xilinx. Mediante Petalinux [14], los estudiantes desarrollan un sistema operativo embebido basado en Linux optimizado para el

hardware implementado que permite la gestión de las comunicaciones y facilita el control de los dispositivos hardware mediante device drivers desarrollados a medida de las necesidades de gestión de los dispositivos [15].

Petalinux facilita el desarrollo de un sistema operativo embebido basado en el proyecto Yocto, autogenerando los metadatos que configuran las capas del SO y las recetas de cada componente. Además, Petalinux permite importar el proyecto de Vivado generado por los estudiantes durante el primer cuatrimestre y autogenera el Device Tree que permite acceder a los módulos IP del PL a través del bus AXI. La Fig. 4 muestra las entradas del Device Tree que permiten direccionar los módulos encargados de controlar los principales bloques IP diseñados en la asignatura de Diseño avanzado de sistemas digitales.

```
my_dcmotor 0: my_dcmotor@a0002000 {
    clock-names = "s00_axi_aclk";
    clocks = <&clk 71>;
    compatible = "xlnx,my-dcmotor-1.0";
    reg = <0x0 0xa0002000 0x0 0x1000>;
    xlnx,s00-axi-addr-width = <0x4>;
    xlnx,s00-axi-data-width = <0x20>;
};
my_distance 0: my_distance@a0005000 {
    clock-names = "s00_axi_aclk";
    clocks = <&clk 71>;
    compatible = "xlnx,my-distance-1.0";
    reg = <0x0 0xa0005000 0x0 0x1000>;
    xlnx,s00-axi-addr-width = <0x4>;
    xlnx,s00-axi-data-width = <0x20>;
};
my_ds18b20 0: my_ds18b20@a0001000 {
    clock-names = "s00_axi_aclk";
    clocks = <&clk 71>;
    compatible = "xlnx,my-ds18b20-1.0";
    reg = <0x0 0xa0001000 0x0 0x1000>;
    xlnx,s00-axi-addr-width = <0x4>;
    xlnx,s00-axi-data-width = <0x20>;
};
my_servo 0: my_servo@a0004000 {
    clock-names = "s00_axi_aclk";
    clocks = <&clk 71>;
    compatible = "xlnx,my-servo-1.0";
    reg = <0x0 0xa0004000 0x0 0x1000>;
    xlnx,s00-axi-addr-width = <0x4>;
    xlnx,s00-axi-data-width = <0x20>;
};
my_stepper 0: my_stepper@a0003000 {
    clock-names = "s00_axi_aclk";
    clocks = <&clk 71>;
    compatible = "xlnx,my-stepper-1.0";
    reg = <0x0 0xa0003000 0x0 0x1000>;
    xlnx,s00-axi-addr-width = <0x4>;
    xlnx,s00-axi-data-width = <0x20>;
};
```

Fig. 4. Entradas del Device Tree de la imagen de Linux generada

Además, Petalinux facilita el desarrollo de los device drivers generando el cuerpo básico del driver y dejando al estudiante el desarrollo de la lógica de gestión del dispositivo.

Una vez los estudiantes disponen de una imagen del SO a medida de los requisitos del reto propuesto, comienza la segunda parte de la asignatura en la que se desarrollan las aplicaciones que se encargan de la lógica de negocio del sistema.

Los estudiantes configuran un entorno de compilación cruzada que facilita el desarrollo de aplicaciones para la plataforma hardware utilizada.

Finalmente, utilizando protocolos de comunicaciones propios del IIoT (Industrial Internet of Things) desarrollan un sistema que permite tele monitorizar y tele controlar el funcionamiento del sistema. Dado que en la asignatura de "Redes de comunicaciones industriales" los estudiantes analizan los principales protocolos industriales, en esta asignatura se analizan los principales protocolos síncronos y asíncronos utilizados en el paradigma IoT, Rest API y MQTT, para que el estudiante desarrolle un middleware a la medida de los requisitos del sistema utilizando en cada momento la conectividad más apropiada.

IV. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Como se ha indicado previamente en la presente publicación cada año se presenta un reto que debe ser resuelto por los estudiantes distribuidos en grupos.

Durante las 5 promociones que se han desarrollado del MUAECI desde el año 2015 se han propuesto 3 retos diferentes:

- Desarrollo de un sistema de control de un panel solar para maximizar la energía generada. En las promociones 2015-2016 y 2016-2017 los estudiantes debían controlar la orientación de un panel solar didáctico por medio de dos servos, analizando la luz y temperatura de exposición y gestionando la energía generada. Los estudiantes debían desarrollar un panel de control que permitiera controlar en tiempo real el sistema y visualizar los indicadores históricos
- Desarrollo de un robot móvil. Durante las promociones 2017-2018 y 2018-2019 los estudiantes disponían de una plataforma móvil a gestionar por el SoC sobre la cuál debían desarrollar un proyecto en el ámbito de la seguridad. Igualmente, el sistema debía alertar en tiempo real ante incidencias detectadas y permitir el control remoto del robot.
- Control multivariable de posicionamiento de eje horizontal. En la promoción 2019-2020 los estudiantes han desarrollado un sistema capaz de gestionar una maqueta didáctica que permite el desplazamiento horizontal de un elemento. La maqueta incluye fuentes de calor y de frío y sensores redundantes de temperatura. Los estudiantes deben controlar desde un panel de control remoto el posicionamiento del sistema en base a la consigna, temperatura, etc. La Fig. 5 muestra la maqueta didáctica diseñada por los

profesores del MUAECI para las asignaturas del área de Electrónica Industrial.

Aunque la distribución secuencial de las asignaturas Diseño avanzado de sistemas digitales y Sistemas embebidos avanzados complica el desarrollo de un único proyecto compartido, el desarrollo de los proyectos de cada asignatura se lleva a cabo de manera coordinada entre ambas con un único objetivo final. De esta forma los estudiantes deben utilizar los resultados del proyecto desarrollado en el primer cuatrimestre como base del proyecto en la asignatura correspondiente al segundo. Sin embargo, los estudiantes pueden, hasta la entrega final, añadir nuevos bloques IP sobre el diseño de partida.

Para cada asignatura los estudiantes deben desarrollar un prototipo con la funcionalidad mínima del sistema propuesto. A partir de ahí los estudiantes deben incorporar nuevos elementos diferenciadores cuyo desarrollo debe ser íntegramente llevado a cabo de forma autónoma por los distintos grupos de estudiantes. Las mejoras sobre el prototipo básico pueden ser desarrolladas por todos los componentes de un grupo o únicamente por aquellos que desean subir la nota personal.

Las características de la maqueta mostrada en la Fig. 6 permiten la implementación de algoritmos de control industrial, siendo valorados de forma excepcional aquellos que han sido acelerados mediante su implementación en forma de bloques IP de lógica programable. Esto permite a los estudiantes interiorizar las altas capacidades de procesamiento de los sistemas FPGA y las ventajas del paralelismo propio de esta arquitectura.

Los estudiantes disponen de la métrica utilizada por los profesores para la evaluación del proyecto cuya nota supone el 60% del total de la asignatura.

La evaluación de la asignatura se completa con un examen individual, con un valor de un 30% de la nota total y un conjunto de entregas básicas que los estudiantes deben subir a la plataforma de aprendizaje colaborativo desde la que se organizan las asignaturas del MUAECI, con un valor del 10% de la nota.

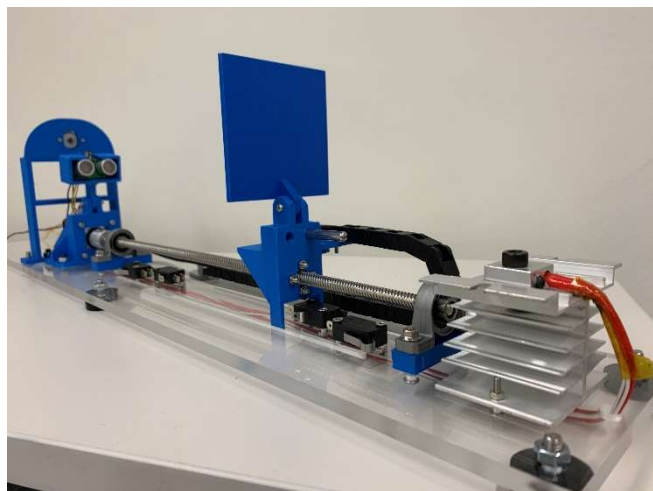


Fig. 5. Maqueta didáctica utilizada en el APB de las asignaturas.

Ante el elevado porcentaje de la nota derivado al proyecto, para evitar enmascarar deficiencias en el aprendizaje individual que no son detectadas durante la evaluación, los estudiantes deben aprobar el examen individual para superar la asignatura.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El desarrollo de las asignaturas de “Diseño avanzado de sistemas digitales” y “Sistemas embebidos avanzados” permite desarrollar al completo el flujo de trabajo necesario para el desarrollo de un sistema embebido de alto rendimiento basado en un SoC heterogéneo. A lo largo del curso, los estudiantes del Máster Universitario en Automatización, Electrónica y Control Industrial desarrollan todas las etapas, desde la contextualización hasta la evaluación de un sistema embebido mediante una tecnología innovadora llamada a resultar clave en la aplicación del paradigma IIoT.

Mediante la aplicación de una metodología de aprendizaje basado en proyecto, los estudiantes asimilan sin dificultades nuevas tendencias en el diseño de sistemas embebidos como el diseño de un SO embebido basado en Linux mediante Yocto o el desarrollo de bloques de lógica programable mediante lenguajes de sintetizado de alto nivel (HLS).

Para los próximos años, el objetivo de los profesores de las asignaturas descritas en la presente publicación es añadir paulatinamente en los proyectos sensores avanzados como cámaras o acelerómetros de ultra alta velocidad que faciliten el mantenimiento predictivo de los sistemas controlados y permitan la aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de información que puedan ser aceleradas mediante algoritmos sintetizados en FPGA.

REFERENCES

- [1] Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. “Inserción laboral de los egresados universitarios. Curso 2013-14 (análisis hasta 2018). Publicación incluida en el Programa Editorial del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. 2019. e-NIPO: 692-19-016-4
- [2] J. Bigelow, “Using problem based learning to develop skills in solving unstructured problems,” en *Journal of Management Education*, 28(5):591-610, 2004.
- [3] M. Valero García. “El aprendizaje basado en proyectos en los estudios de ingeniería,” en *Cuadernos de pedagogía*, núm. 403, pp. 52-55, 2010.
- [4] E. Martí, F. Poveda, A. Guuguí y D. Gil. “Aprendizaje Basado en Proyectos en Ingeniería Informática. Resultados y reflexiones de seis años de experiencia,” en *Simpósio-taller JENUI 2011*, pp. 1-8, Sevilla, julio de 2011.
- [5] O. Arbelaitz Gallego, J. I. Martín Aramburu, J. Muguerza Rivero. “Aprendizaje cooperativo y basado en proyectos en la asignatura Arquitectura de Computadores,” en *Revista de AENUI (Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática) de investigación en Docencia Universitaria de la Informática*. ISSN: 1989-1199. Vol 6, No 2 (2013)
- [6] K. Umachandran, I. Jurčić, V. Della Corte y D. S. Ferdinand-James, “Industry 4.0: The New Industrial Revolution,” en *Handbook of Research on Big Data Analytics for Smart and Connected Cities*, (pp. 138-156), Hershey, PA: IGGI Global. doi: 10.4018/978-1-5225-6207-8.ch010
- [7] L. Bassi, “Industry 4.0: Hope, hype or revolution?,” 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), Modena, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/RTSI.2017.8065927
- [8] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang and W. Zhao, “A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications,” in *IEEE Internet of Things Journal*,

- vol. 4, no. 5, pp. 1125-1142, Oct. 2017. doi: 10.1109/JIOT.2017.2683200
- [9] S. Leibson and N. Mehta. "Xilinx UltraScale: The Next-Generation Architecture for Your Next-Generation Architecture," xilinx.com. White Paper: UltraScale Architecture. WP435 (v1.0) July 8, 2013.
- [10] Xiaofan Zhang, Anand Ramachandran, Chuanhao Zhuge, Di He, Wei Zuo, Zuofu Cheng, Kyle Rupnow, and Deming Chen. 2017. Machine learning on FPGAs to face the IoT revolution. In Proceedings of the 36th International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD '17). IEEE Press, 819–826.
- [11] G. de Micheli y M. Sami. Hardware/Software Codesign. Proceedings of the NATO Advanced Institute on Hardware/Software Codesign. Tremezzo, Itali. June 19-30, 1995
- [12] A. A. Jerraya and W. Wolf, "Hardware/software interface codesign for embedded systems," in Computer, vol. 38, no. 2, pp. 63-69, Feb. 2005. doi: 10.1109/MC.2005.61
- [13] J. Balasch, A. Beckers, D. Božilov, S. S. Roy, F. Turan and I. Verbaauwhede, "Teaching HW/SW codesign with a Zynq ARM/FPGA SoC," 2018 12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME), Braunschweig, Germany, 2018, pp. 63-66. doi: 10.1109/EWME.2018.8629481
- [14] PetaLinux Tools Documentation Reference Guide. www.xilinx.com. UG1144 (v2019.2) October 30, 2019
- [15] K. Song, Z. Huang, y Han Gao. "Design of intelligent environmental gateway platform based on Zynq-7000," en Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Image Processing (ICAIP '18). 2018. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 133–137. /doi:10.1145/3239576.3239604

Incorporación de E-textile al programa de master y doctorado de Ingeniería Textil

Ana Rodés Carbonell
Instituto Tecnológico del Textil (AITEC)
 Alcoy (Alicante), España
 arodes@aitec.es

Eduardo García-Brejjo
Departamento Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del
Diseño
Universitat Politècnica de València
 Valencia, España
 egarciab@eln.upv.es

Luis Gil Sánchez
Departamento Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del
Diseño
Universitat Politècnica de València
 Valencia, España
 lgil@eln.upv.es

Eva Bou Belda
Departamento Ingeniería Textil y Papelera
Escuela Politécnica Superior de Alcoy
Universitat Politècnica de València
 Valencia, España
 evbobel@upvnet.upv.es

Ignacio Montava Seguí
Departamento Ingeniería Textil y Papelera
Escuela Politécnica Superior de Alcoy
Universitat Politècnica de València
 Valencia, España
 imontava@txp.upv.es

Abstract — Las nuevas tecnologías de fabricación electrónica se han incorporado en los últimos años al área de ingeniería textil, dando lugar a una nueva área tecnológica denominada *Electronic Textile* (E-Textile).

La Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA) está desarrollando un programa de master de Ingeniería Textil donde se incorpora una asignatura sobre esta tecnología. En esta comunicación se describe dicho máster y el contenido de una asignatura (textiles inteligentes) donde se pone en práctica esta tecnología.

Keywords— *E-Textile, docencia en másteres*

I. INTRODUCCIÓN

Los textiles electrónicos (E-Textile), también conocidos como prendas o tejidos inteligentes, son tejidos que mediante la modificación de su estructura o mediante la incorporación de elementos externos pueden detectar estímulos físicos y reaccionar frente a estos estímulos mediante la incorporación de elementos externos. De esta manera, estos tejidos logran una funcionalidad añadida. El desarrollo de estos tejidos ha estado progresando rápidamente durante los últimos veinte años [1-2].

La modificación de la estructura se puede obtener a partir de fibras o aditivos con determinadas propiedades funcionales. También pueden obtenerse a partir de hilos o telas de diferentes fibras o capas, otro método consiste en realizar determinados acabados superficiales que modifiquen las propiedades del tejido. En el segundo caso, la incorporación de elementos externos consiste en la integración de componentes eléctricos o electrónicos en el tejido para realizar una determinada función.

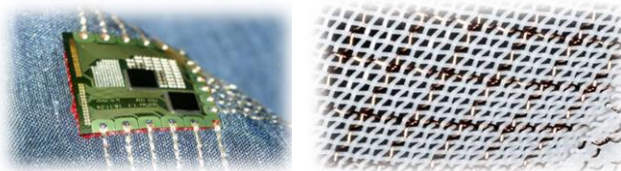


Fig. 1. Elementos externos incorporados al textil (izq.) y Modificación de la estructura del textil (der.)

II. CLASIFICACIÓN DE LOS E-TEXTILE

Los E-Textile se pueden clasificar según diversos criterios, uno de ellos es el origen de la funcionalidad, y puede ser de dos tipos, sistema externo donde el textil actúa como un sustento del sistema y en aquellos en que el tejido posee una funcionalidad propia.

Otro criterio de clasificación de los E-Textile es según su comportamiento, existiendo tres tipos: Pasivos (*Passive Smart Textile*) que los tejidos que actúan como meros sensores, Activos (*Active Smart Textile*) donde además de actuar como sensor, actúan sobre un estímulo y Ultra Inteligentes (*Ultra Smart Textile*) donde, además, de sensar y actuar, son capaces de adaptarse al entorno [3-6].

La naturaleza de los sistemas externos añadidos al textil suele ser de carácter mecatrónico, es decir sistemas que abarcan, total o parcialmente, elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos, informáticos, telemáticos o de control.

Esta tecnología dota a los materiales textiles de unas características físicas que permiten actuar como sensores y actuadores con aplicaciones en deporte, fisioterapia, medicina, etc.

A. *Passive Smart Textile*

Estos tejidos muestran los procesos físicos o químicos que suceden en ellos, como el cambio de color, forma, temperatura, etc. Por ejemplo, una camisa con sensores de temperatura incorporados para registrar la temperatura corporal con el tiempo. Pueden simplemente actuar como en un calefactor, encendiendo leds, etc.

En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de calcetines con sensores de presión piezoeléctricos que son capaces de medir los pasos de la persona que los utiliza. Estos sensores poseen un sistema de transmisión Bluetooth que permite conectarse a un Smartphone y con los datos obtenidos una aplicación que realiza una cuenta de los pasos caminado y un análisis de la pisada.

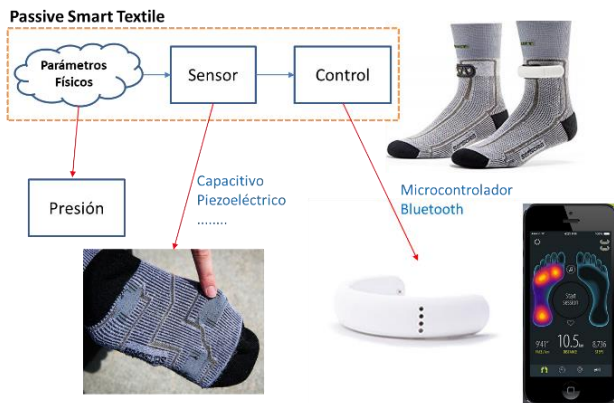


Fig. 2. Ejemplo Smart Textile Pasivo

B. Active Smart Textile

Puede responder a un estímulo particular. En la Fig. 3 se indica un ejemplo de este tipo de aplicación donde una prenda posee un sensor de temperatura a base de termistor NTC y de resistencias de platino. En caso de que el sensor detecte una bajada térmica inferior a una determinada temperatura un sistema de control activa un calefactor que hace aumentar la temperatura hasta que la prenda alcanza un valor determinado.

C. Ultra Smart Textile

Estos tipos de e-textil pueden tomar decisiones en función del valor de la salida actual frente al valor esperado de la salida cuando las señales de entrada toman unos valores determinados. En la Fig. 4 se muestra un sistema de control de movimiento de la mano que es utilizado para personas con problemas de temblor y destreza de movimientos en las manos como pueden ser los enfermos de Parkinson. El sistema está formado por una especie de guante con sensor de movimiento formado por acelerómetro y giroscopio. Los datos obtenidos con estos sensores se comparan con los que deberían corresponder en la realización de un determinado acto, por ejemplo, el uso de una cuchara. En caso de que el movimiento no corresponda con el adecuado (con el consiguiente problema de derrame) se pone en marcha un motor colocado en el propio guante, que fuerza la corrección de la posición de la mano y por tanto, de la cuchara, manteniendo así la estabilidad.



Fig. 3. Ejemplo Smart Textile Activo

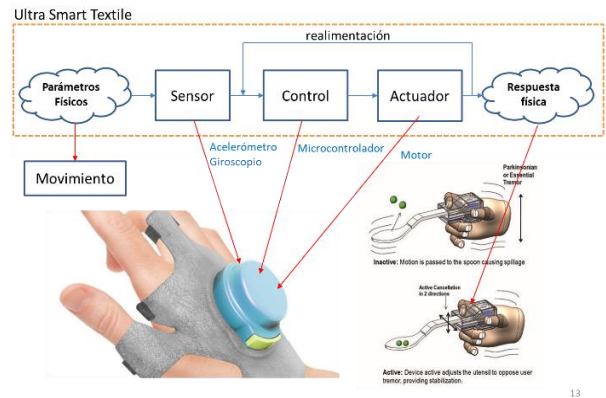


Fig. 4. Ejemplo de Ultra Smart Textile

Las aplicaciones de los E-textiles se pueden extender a múltiples campos de la actividad humana como son la protección frente a agentes externos (temperatura, gases, radiaciones, etc.), médicas (enuresis, prótesis), deportivas (aplicar sensores para medir parámetros fisiológicos y analizar el rendimiento deportivo), estéticas, etc. Las amplias aplicaciones de los textiles electrónicos ha motivado la presentación de múltiples comunicaciones científicas docentes [7-9].

III. MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL

A. Antecedentes

La ciudad de Alcoy y las comarcas colindantes del centro de la Comunidad Valenciana poseen una gran tradición de industria textil con fábricas de distintos subprocesos de este tipo de industria: hilaturas, tejedurías, tintes, etc. Para el desarrollo y mantenimiento de esta industria siempre ha sido necesario contar con personal especializado y por ello desde un principio se crearon en Alcoy diversos centros de enseñanza para la enseñanza de esta industria. El inicio de esta industria estuvo fomentado por la Real Fábrica de Paños de Alcoy fundada en el siglo XVIII y que promovía contratos a técnicos extranjeros y expertos en procesos de tinturas y equipamiento. Pero en el siglo XIX se comprobó que no era adecuado la dependencia de tecnología y personal especializado extranjero. Por ello se pusieron en marcha los primeros establecimientos docentes hasta que en 1910 se establece la Escuela Industrial donde la ingeniería textil era una de las especialidades más importante. Esta escuela tenía autonomía y edificio propio (construido en 1923). Los estudios que se impartían recibieron a lo largo de su historia distintos nombres y características según la normativa establecida: en 1942, Escuela de Peritos Industriales y, en 1964 Escuela de Ingeniería Técnica Industrial) [10].

En 1972 se integró en la Universitat Politècnica de València (UPV) como "Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Alcoy" (EUITIA) teniendo los estudios rango universitario. Desde 1983 se impartieron cinco especialidades: Química, Mecánica, Eléctrica, Textil y Electrónica Industrial.

Con la entrada en vigor de la LRU en 1986, la Universidad adquiere una nueva estructura interna que la reorganiza en departamentos. Dada esta nueva estructura y la singularidad que la Ingeniería Textil representa dentro de la UPV, se ubica la sede central del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera en Alcoy. Desde 1991, se imparten en este departamento cursos de Doctorado (3r ciclo).

Desde febrero de 1998 el Campus de Alcoy ha ampliado sus instalaciones con la rehabilitación de dos antiguas e importantes fábricas textiles de género de punto de principios del siglo XX: las fábricas de Ferrándiz inicialmente y Carbonell que fue inaugurada en la primera década del siglo XXI. En la actualidad, la EPSA es un campus universitario competitivo, cercano a los alumnos, que ofrece una formación personalizada y adaptada a los retos de la economía y sociedad. Cerca de 2.500 alumnos cursan sus estudios en el Campus de Alcoy de la UPV.

Con la implantación de la Ley Orgánica de Universidades (LOU) y la adaptación al denominado Proceso de Bolonia e iniciación del Espacio Europeo de Educación Superior se crearon en la EPSA diversos estudios de Grado y de Máster. En los estudios de grado desapareció la ingeniería textil (el antiguo título de Ingeniero Técnico Textil poseía pocos alumnos). Los antiguos estudios de doctorado (3er Ciclo) fueron transformados en 2007 en la titulación de Máster Universitario en Ingeniería Textil, siendo modificados sus contenidos, para adaptarlos a la realidad del sector, en el curso 2014/15.

B. Máster Universitario en Ingeniería Textil

El Máster Universitario en Ingeniería Textil tiene como entidad responsable del título a la Escuela Politécnica Superior de Alcoy y para la puesta en marcha de sus planes de estudio del 2014/15 y posterior seguimiento, cuenta con el asesoramiento de las entidades que aglutinan a las empresas del sector a nivel regional, como es el caso de la Asociación Textil de la Comunidad Valenciana (ATEVAL) o a nivel nacional e internacional como es el caso de la Asociación de Investigación de la Industria Textil (AITEEX). En el caso de AITEEX, además del asesoramiento, se cuenta con su participación activa en la docencia, prestando sus punteros recursos humanos y materiales para la impartición del título. Las infraestructuras disponibles y la fuerte relación con el entorno productivo que aportan dichos organismos permiten suponer una buena calidad en la formación que se propone.

El Máster surgió ante la constatación de que el ámbito textil actual requiere de personas formadas, con capacidad para liderar las empresas y estructuras de investigación relacionadas con el sector, que afronten el reto de las nuevas competencias, y que ayuden a potenciar el desarrollo de nuevos productos y a ser competitivos en el renovado mercado textil.

Criterios de admisión: según la Memoria de Verificación que rige los accesos al Máster se establece la siguiente prioridad de acceso de acuerdo con la titulación previa: Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos; Grado en Ingeniería de Diseño y Tecnología Textil; Grado en Ingeniería de Tecnología y Diseño Textil; Grado en Ingeniería de Diseño Industrial; Grado en Diseño; Grado en Diseño de Moda; entre otras.

La colaboración de las entidades externas participantes en el máster (ATEVAL y AITEEX), permite potenciar la oferta en prácticas del alumnado

C. Plan de Estudios del Máster Universitario en Ingeniería Textil (MUIT)

La estructura del plan de estudios de MUIT consta de 60 ECTS dividido en dos semestres con un total de 30 ECTS de asignaturas obligatorias, 18 ECTS de asignaturas optativas y 12 de Trabajo Final de Master [11].

Las asignaturas obligatorias poseen los siguientes grupos: Materias y Procesos Físico Textiles (10.5 ECTS), Procesos Químico Textiles (9 ECTS), Mercados de Productos Textiles y Requisitos Técnicos (4.5 ECTS), Técnicas Instrumentales Aplicables a la Industria Textil (6 ECTS).

Entre las asignaturas optativas, 9 ECTS corresponden a Materias Optativas Transversales y otros 9 ECTS Materias Optativas de Especialización a elegir entre asignaturas de dos materias: I+D en la Ingeniería Textil o Gestión e Innovación de Empresas Textiles.

Es de destacar que la gran mayoría de las asignaturas de este master son impartidas por el departamento de Ingeniería Textil por lo que confiere un carácter muy uniforme.

Con el paso de los cursos se ha planteado realizar una reforma del plan de estudios para lograr una mayor diversidad de los estudios introduciendo materias novedosas y tecnologías actuales que permitan lograr una titulación más atractiva y así captar a un mayor número de estudiantes y profesores y que sea susceptible de desarrollar proyectos de investigación de carácter interdisciplinar.

El interés en ofrecer una mayor docencia textil se ve incrementada por el déficit de oferta en formación en este ámbito. Por lo general la oferta de formación textil está centralizada en zonas de tradición industrial textil.

En lo que se refiere a un plano nacional tan sólo la Universitat Politècnica de Catalunya ofrece el Máster Universitario en Ingeniería Textil y Papelera en el cual se imparten tanto asignaturas propias del sector textil, como el papelerero y el gráfico. Este máster consta de 90 ECTS impartidos en 1,5 años.

Centrándose en un marco europeo se encuentran distintas universidades que ofrecen másteres de formación textil. En la universidad de Manchester en Reino Unido (The University of Manchester) se imparte el Máster en Textiles Técnicos, cuyo objetivo del plan de estudios se enfoca en proporcionar conocimiento y comprensión de todo el proceso de transformación de materiales fibrosos en productos textiles finales, desarrollando habilidades para identificar y analizar el material apropiado y la ruta de producción para un producto final específico.

En la ciudad de Gante de Bélgica (Ghent University) se imparte el Máster en Ciencias en Ingeniería Textil el cual consta de 120 ECTS. Este Máster se diferencia de los demás por impartirse en tres universidades dentro del espacio europeo reuniendo los especialistas más reconocidos en el dominio multidisciplinario de los textiles en Europa.

En la Universidad de Zagreb (Croacia) se ofrecen diversos másteres textiles, destacando el Máster de Ingeniería y Tecnología Textil de 120 ECTS impartido en 4 semestres. Del mismo modo universidades como Kaunas University of Technology en Lituania y Ege University en Turquía, entre otras, también cuentan con másteres textiles cuyos planes de estudio también se basan en estudiar el proceso de transformación del textil.

Cabe resaltar que todos los másteres comentados se basan en formación de ingeniería textil centrándose en un aspecto técnico, no comentando aquellos másteres cuyos estudios se basan en moda y diseño. Como es el caso del máster ofrecido por la Universidade do Minho, centrado en el diseño, comercialización y desarrollo de la actividad I+D en los

campos de textiles, indumentaria y accesorios y su posterior comercialización.

IV. MODIFICACION DEL PLAN DE ESTUDIOS

A la vista de los resultados de los últimos años del máster se propuso una modificación de los planes de estudio donde se incluyan materias de tecnología novedosa que lo haga más atractivo y abierto a un número mayor de alumnos. Esta modificación se ha ido desarrollando estos últimos años y entrará en vigor en el curso 2020-21.

Las novedades principales del nuevo plan de estudios es el aumento de la docencia ya que cuenta con 90 ECTS divididos en tres semestres. Los dos primeros cuentan con 30 ECTS cada uno de asignaturas obligatorias y el tercero 18 ECTS de asignaturas optativas y 12 de Trabajo Final de Máster (TFM). En la Tabla 1 se indica la relación de asignaturas en cada uno de los tres semestres y los créditos asignados.

Lógicamente la mayoría de las asignaturas las sigue impartiendo el área de Ingeniería Textil pero también se cuenta con la participación de otros departamentos universitarios y áreas de conocimiento que enriquecen al Máster y lo hacen más multidisciplinar.

Concretamente, una de las nuevas incorporaciones al Máster es la asignatura Textiles Inteligentes, que se oferta como obligatoria del segundo semestre y que es el objeto de la presente comunicación.

TABLA 1. MODIFICACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL

SEMESTRE 1A	
Innovaciones en Fibras Textiles	(4,5 ECTS)
Procesos de Fabricación de Estructuras Lineales y Laminares No Tejidas	(6 ECTS)
Estructuras Avanzadas de Calada	(4,5 ECTS)
Estructuras de Punto y Procesos de Confección	(4,5 ECTS)
Color y Coloración de Materias Textiles	(6 ECTS)
Técnicas Instrumentales Aplicables a la Industria Textil	(4,5 ECTS)
SEMESTRE 1B	
Aprestos y Acabados	(6 ECTS)
Mercados de Productos Textiles y Requisitos Técnicos	(4,5 ECTS)
Caracterización de Materias Textiles	(4,5 ECTS)
Textiles Inteligentes	(6 ECTS)
Diseño de Productos Textiles Sostenibles	(4,5 ECTS)
Tecnologías Textiles para Materiales Compuestos. Bio y Green-Comp.	(4,5 ECTS)
SEMESTRE 2A	
Caracterización y Tratamientos Primarios de Aguas de la IT	(4,5 ECTS)
Creación de Empresas de Base Tecnológica-Textil	(4,5 ECTS)
Herramientas para el Tratamiento de Datos en la Industria Textil	(4,5 ECTS)
Polímeros Conductores Aplicados a Materiales Textiles	(4,5 ECTS)
Tratamientos Avanzados de Aguas de la Industria Textil	(4,5 ECTS)
Vigilancia Tecnológica y Propiedad Industrial	(4,5 ECTS)
Biotecnología en el Sector Textil	(4,5 ECTS)
Estrategias de Internacionalización de Empresas Textiles	(4,5 ECTS)
Diseño Digital de Tejidos de Calada mediante Tecnología Jacquard	(4,5 ECTS)
Gestión y Organización de Proyectos de I+D	(4,5 ECTS)
Logística Global para la Industria Textil	(4,5 ECTS)
Nuevos Materiales Poliméricos para Aplicaciones en el Sector Textil	(4,5 ECTS)
Prevención de Riesgos Laborales en la Industria Textil	(4,5 ECTS)
Trabajo Fin de Máster	(12 ECTS)

El reto pedagógico consiste en lograr una asignatura que, por un lado, describa los conceptos propios de la materia con una clara aplicación industrial y, por otro lado, realizar un enfoque con las características propias de la tecnología electrónica para alumnos que en general proceden de especialidades ajenas a la electrónica.

La asignatura Textiles Inteligentes se imparte en el segundo semestre, posee una carga lectiva de 6 ECTS (3 Teoría de Aula y 3 de Prácticas de Laboratorio). Está asignatura está dividida en dos partes, la primera denominada Textiles Inteligentes Pasivos y Activos (1.6 TA / 1.4 PL) y una segunda parte denominada Textiles Inteligentes ultra-activos (1.4 TA/1.6 PL) que es la parte que afecta a esta comunicación. El reparto de contenidos corresponde 3.7 ECTS a la UPV y 2.3 ECTS a AITEX.

El temario de la asignatura de Textiles Inteligentes se detalla en la tabla 2. Distinguiendo dos bloques, el de los textiles inteligentes pasivos y activos mediante la funcionalización química del tejido y el de los textiles inteligentes ultra-activos donde se integra la electrónica en el textil. Este segundo bloque es al que hace referencia el presente trabajo.

TABLA 2. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA TEXTILES INTELIGENTES

<i>Textiles Inteligentes</i>
Textiles inteligentes pasivos y activos
1. Introducción a los textiles funcionales. Textiles inteligentes
2. Sistemas de atrapamiento
3. Procesos enzimáticos aplicados a textil
4. Nanotecnología aplicada a artículos textiles
Textiles inteligentes ultra-activos
1. Sistemas electrónicos para textil.
2. Técnicas de adición de dispositivos electrónicos al textil.
3. Integración de sistemas electrónicos en textil
4. Técnicas de impresión electrónica industrial.

V. DESARROLLO DE LA ASIGNATURA TEXTILES INTELIGENTES

Tal como indica la Tabla 2 la segunda parte de la asignatura Textiles Inteligentes, denominada Textiles ultra activos posee 3 ECTS y está dividida en cuatro temas. Con ellos se procura realizar una visión rápida pero efectiva de la aplicación de la electricidad y la electrónica al mundo textil.

El primer tema “Sistemas electrónicos para textil” es un tema introductorio donde se desarrollan los conceptos generales de los E-Textile, su clasificación y ejemplos de cada uno de los tipos considerados: Textiles inteligentes Pasivos, Activos y Ultra-Activos.

En el segundo tema “Técnicas de adición de dispositivos electrónicos al textil” se hace un repaso de las bases de la electricidad y electrónica enfocándolas al mundo textil. Se hace más hincapié en la electrónica analógica: concepto de circuito eléctrico, tipos de corriente, magnitudes a considerar, fuentes de energía, cargas resistivas y su asociación serie/paralelo, cargas tipo LED e interruptores mecánicos y electrónicos. Estos conceptos se acompañan con ejemplos de instrumentos para la medida de tensión, corriente y resistencia. De forma más específica se estudian los elementos conductores en el textil, a saber, hilo, cinta, tela y tintas; estudiando sus características. La práctica de laboratorio de este tema consiste en la caracterización de un hilo conductor y de un calefactor serigrafiado con tinta de plata sobre tela de algodón estudiando su resistividad, resistencia y potencia (fig. 5).

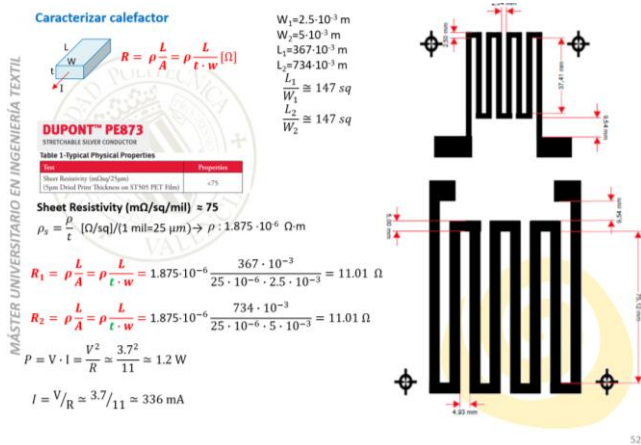


Fig. 5. Práctica de caracterización de un calefactor serigrafiado con tinta de plata sobre sustrato tela 100% algodón.

El tercer tema se denomina “Integración de sistemas electrónicos en textil” y está dedicado a la electrónica digital. En este tema se imparten los conceptos y conocimientos básicos de digital y se estudia el entorno de trabajo de un microcontrolador ATmega168V o ATmega328V, en plataforma Arduino Lilypad [12,13] con forma específica para ser cosido en prendas textiles (Fig. 6). La programación es por puerto USB y posee un conector de alimentación para baterías que le permite ser portable. En este tema se explican los conceptos básicos de programación y se hacen ejercicios sobre el compilador de Arduino.

En la segunda parte de este tema se desarrollan los conceptos de Sensor y Actuador, su función, características, tipos, etc. En este tema hay dos prácticas: la primera práctica consiste en la integración mediante bordado con hilo conductor sobre tela de algodón de un Lilypad controlando un LED (Light Emissor Diode), un sensor de temperatura y un sensor de luz (Fig. 7). El LED se controla en modo digital ON/OFF y en modo analógico mediante un control PWM. Con el sensor de temperatura se realiza un termómetro digital con comunicación serie con el ordenador y un controlador de umbral de temperatura para activar una alarma. Por último con el sensor de luminosidad se realiza un luxómetro y un controlador de umbral de luz para el encendido de luces.

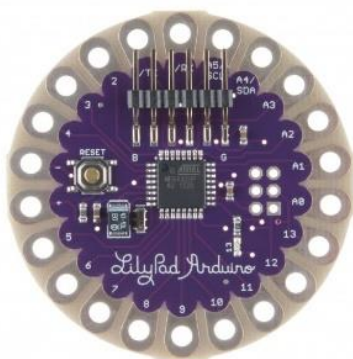


Fig. 6. Arduino Lilypad

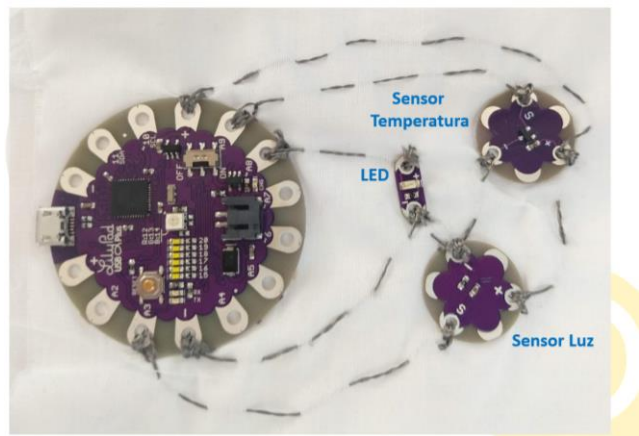


Fig. 7. Práctica de integración mediante bordado con hilo conductor sobre tela de algodón de un Lilypad controlando un LED, un sensor de temperatura y un sensor de luz.

La segunda práctica consiste en el control todo/nada y mediante PWM de un calefactor serigrafiado con tinta de plata en tela de algodón. Se utiliza un MOSFET de potencia y una batería externa. Mediante una cámara IR se evalúa la temperatura conseguida (Fig. 8).

Por último, en el cuarto tema “Técnicas de impresión electrónica industrial” se realiza una revisión de las técnicas actuales de impresión sobre sustratos flexibles: huecograbado, flexografía, serigrafía e inkjet. Se estudian cada una de estas técnicas, sus características, los equipos de impresión y los materiales empleados. La práctica se realiza en colaboración con AITEX en cuyas instalaciones se cuenta con maquinaria para realizar impresión con diferentes tecnologías, como inkjet (Fig. 9), serigrafía (Fig. 10) y flexografía (Fig. 11). En todos ellos se parte de un patrón conductivo, se realizan las impresiones y se caracterizan eléctricamente.



Fig. 8. Práctica de control de un calefactor en textil mediante todo/nada y PWM.

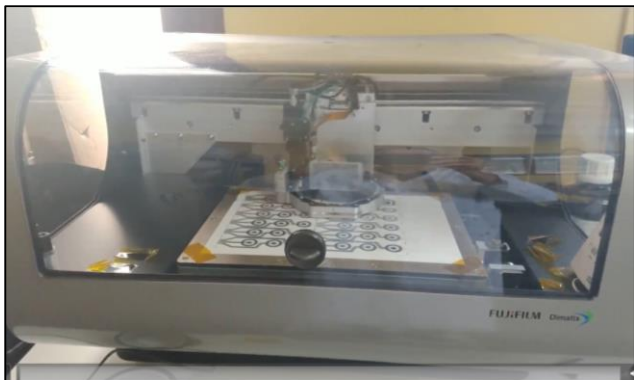


Fig. 9. Práctica de impresión inkjet de patrones conductivos sobre tela de algodón. Se emplea la DIMATIX DMP-2850 con tinta de nanopartículas de plata y un cartucho de 16 nozzles, en simple columna y 10 pL de volumen con una resolución de 100 dpi.

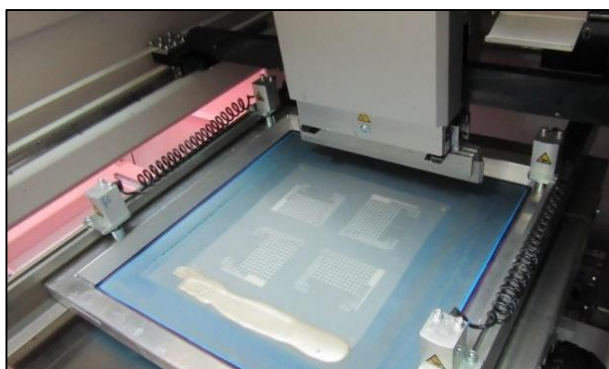


Fig. 10. Práctica de serigrafía de patrones conductivos sobre tela de algodón. Se emplea una EKRA X4 y una patalla de poliéster de 200 mesh. La tinta serigráfica es de plata.



Fig. 11. Práctica de flexografía de patrones conductivos sobre tela de algodón. Se emplea una KPP de una unidad de impresión de flexografía. La tinta flexográfica es de plata.

Por otra parte, se aborda la inclusión de conductores eléctricos mediante bordado de hilos conductores (Fig. 12).

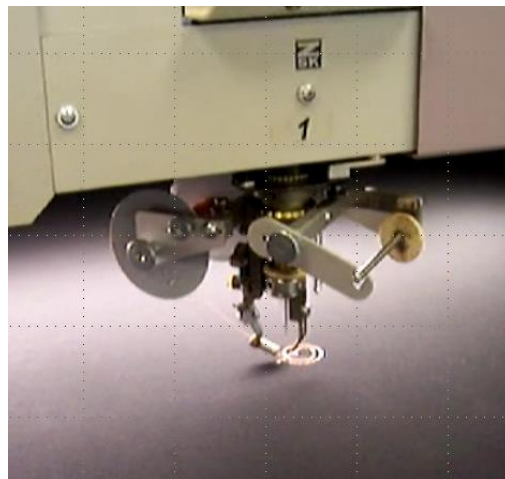


Fig. 12. Práctica de bordado de patrones conductivos sobre tela de algodón. El proceso se lleva a cabo utilizando una máquina de bordar de ZSK con un cabezal F, con una configuración de 1,5 mm/puntada. El hilo es de poliamida recubierta de plata.

VI. RESULTADOS

La asignatura se encuentra en proceso de desarrollo para su próxima impartición y por lo tanto no hay resultados de evaluación.

En el campo de los textiles electrónicos ya se están desarrollando dos tesis doctorales. La primera tiene como título: “Diseño y análisis de sensores y actuadores desarrollados con tecnología de impresión electrónica empleando tintas poliméricas sobre sustratos flexibles y elásticos para aplicación en textiles” y la segunda tesis: “Dispositivos electrónicos impresos sobre sustratos textiles mediante la técnica de flexografía”. Como resultado de la primera tesis se han publicado 4 artículos en revistas internacionales indexadas [14-16]. La segunda tesis se está iniciando al tiempo de desarrollar esta ponencia.

REFERENCIAS

- [1] D. Marculescu, "E-textiles: toward computational clothing," in IEEE Pervasive Computing, vol. 2, no. 1, pp. 89-95, Jan.-March 2003.
- [2] G. Tröster, "Smart Clothes—The Unfulfilled Pledge?," in IEEE Pervasive Computing, vol. 10, no. 2, pp. 87-89, April-June 2011.
- [3] J. Toth-Chernin, "e-Textiles", 21 Century Skills Innovation Library: Makers As Innovators, 2013.
- [4] S. Schneegass and O. Amft, Editors "Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction" Human-computer interactions Series, ed. Springer. 2017.
- [5] L. Ashok Kumar, C. Vigneswaran "Electronics in Textiles and Clothing: Design, Products and Applications". CRC Press. 2016.
- [6] L. Van Langenhove, editor "Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications". Woodhead Publishing in Textiles. CRC Press. 2007.
- [7] K. Pepler, "STEAM-Powered Computing Education: Using E-Textiles to Integrate the Arts and STEM," in Computer, vol. 46, no. 9, pp. 38-43, September 2013.
- [8] E. Hornecker and M. Honauer, "Creating Performance-Oriented Multimedia Projects as Part of an Interdisciplinary Teaching Practice," in IEEE MultiMedia, vol. 25, no. 2, pp. 93-103, Apr.-Jun. 2018.
- [9] J. S. Heo, H. H. Shishavan, R. Soleymanpour, J. Kim and I. Kim, "Textile-Based Stretchable and Flexible Glove Sensor for Monitoring Upper Extremity Prosthesis Functions," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 4, pp. 1754-1760, 15 Feb.15, 2020.

- [10] http://www.epsa.upv.es/campus_historia.php?lang=es consultado el 28/02/2020.
- [11] http://www.upv.es/titulaciones/MUIT/menu_1013559c.html, consultado el 28/02/2020.
- [12] Buechley and M. Eisenberg, "The LilyPad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone," in IEEE Pervasive Computing, vol. 7, no. 2, pp. 12-15, April-June 2008.
- [13] Ferri, Josue, et al. "A wearable textile 2D touchpad sensor based on screen-printing technology." Materials 10.12 (2017): 1450.
- [14] Ferri, Josue, et al. "Integration of a 2D touch sensor with an electroluminescent display by using a screen-printing technology on textile substrate." Sensors 18.10 (2018): 3313.
- [15] Ferri, Josue, et al. "A Wearable Textile 3D Gesture Recognition Sensor Based on Screen-Printing Technology." Sensors 19.23 (2019): 5068.
- [16] Ferri, Josue, et al. "An investigation into the fabrication parameters of screen-printed capacitive sensors on e-textiles." Textile Research Journal (2020): 0040517519901016.

.

Adquisición de competencias transversales en estudios universitarios mediante la participación en concursos de robótica

Julio Pastor Mendoza
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
julio.pastor@uah.es

Cristina Alén Cordero
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
cristina.alen@uah.es

Ángel Llamazares Llamazares
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
angel.llamazares@uah.es

José A. Jiménez Calvo
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
jose.jimenez@uah.es

Pedro Alfonso Revenga de Toro
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
pedro.revenga@uah.es

Emiliano Pereira
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
emiliano.pereria@uah.es

Ana Jiménez Martín
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
ana.jimenez@uah.es

José Luis Martín Sánchez
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
joseluis.martin@uah.es

Hilario Gómez Moreno
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
hilario.gomez@uah.es

Elisa Rojas Sánchez
Departamento de Automática
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
elisa.rojas@uah.es

Ángel Javier Álvarez Miguel
Departamento de Ciencias de la comunicación
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
a.alvarez@uah.es

Pedro Gil Jiménez
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
pedro.gil@uah.es

Enrique Santiso Gómez
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
enrique.santiso@uah.es

Manuel Ocaña Miguel
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
manuel.ocanna@uah.es

Ricardo Mallol Poyato
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Spain)
ricardo.mallol@uah.es

Abstract—El desarrollo de un proyecto de robótica, donde participan estudiantes y profesores de diferentes áreas de conocimiento, es una oportunidad para desarrollar competencias transversales en estudios universitarios. Si este proyecto está motivado por la participación en un concurso de robótica internacional, como EUROBOT, la implicación de los estudiantes es mayor. En el artículo se presenta la organización del proyecto de innovación docente en el que se enmarca la actividad, así como los resultados exitosos tras dos años de implantación.

Keywords— *Competencias transversales, robótica, aprendizaje basado en proyectos, trabajo en equipo*

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del reto que supone la enseñanza/aprendizaje basado en competencias. Esta idea se plasmó en Europa al crearse el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) en la declaración de Bolonia de 1999. El aprendizaje por competencias transversales es un término nuevo, pero se lleva aplicando desde principios del siglo XX. De esta forma, se debe dar importancia tanto a las habilidades que permiten a una persona desarrollar un cierto trabajo como

a su integración dentro de un entorno multidisciplinar. Para ello, es necesario la integración activa de la persona como miembro de una sociedad. Por lo tanto, las competencias transversales deben ser integradas en los cursos de un plan de estudios, siendo parte de las competencias que se van adquiriendo en diferentes asignaturas básicas, obligatorias, optativas y transversales [1,2].

El Proyecto Tuning sirvió para que las estructuras educativas europeas fueran evolucionando para alcanzar los desafíos que fueron establecidos en la Declaración de Bolonia y en el Comunicado de Praga que posteriormente se formalizó con el actual EEES. Dentro de estas actuaciones, se dio especial importancia al aprendizaje de las competencias transversales (o genéricas como las define Tuning). Las competencias transversales son aquellas comunes a cualquier titulación que permiten la integración de las titulaciones en un marco adecuado en base a las necesidades de la sociedad [3,4,5].

Existen varias acciones que van encaminadas al mejor desarrollo de estas competencias. Estas acciones forman parte del proceso de aprendizaje, como las tutorías [6], trabajo colaborativo [7-9], aprendizaje basado en problemas, portafolio electrónico, problemas de desafío, aprendizaje práctico, ... [10]. Otra opción es incluir otras acciones

extracurriculares para dar un valor añadido al currículo del estudiante, permitiendo, una mejor adquisición de estas competencias [11]. Dentro de estas competencias se encuentran las actividades relacionadas con la robótica, que ayudan a los participantes adquirir competencias útiles en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM - Science, Technology, Engineering, and Math) [12].

El diseño y construcción de robots móviles por estudiantes universitarios de ingeniería es una actividad multidisciplinar que requiere integrar conocimientos de mecánica, electrónica, programación y control, potenciando el desarrollo de sus habilidades transversales (trabajo en equipo, creatividad, capacidad de innovación, etc) y haciéndoles mejores profesionales [13]. Estas actividades se pueden clasificar dentro de aquellas que fomentan la formación orientada a proyectos.

El origen del presente trabajo fue una experiencia previa que se tuvo hace unos años, donde se pudo comprobar las ventajas de realizar trabajos fin de titulación englobados en subproyectos relacionados con un robot diseñado para participar en un concurso de robótica [14]. En esta iniciativa participaron estudiantes de diferentes titulaciones y profesores de diferentes áreas de conocimiento. Aquella experiencia hizo ver al grupo de profesores implicados el gran potencial para adquirir competencias transversales en este tipo de proyectos.

Además, tanto las competencias transversales como el aprendizaje basado en proyectos son especialmente valorados para la obtención de sellos de calidad internacionales como EURACE [15]. Esta fue una de las principales motivaciones para que la Universidad de Alcalá propusiese el diseño de robots móviles como estratégica para un buen número de titulaciones ofertadas. Por lo tanto, aprovechando la experiencia acumulada en la organización de competiciones de robots por parte del equipo de trabajo de este artículo [16-23], se propuso la realización de un Proyecto de Innovación docente en esta línea al Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad, proyecto que fue muy bien valorado siendo categorizado como de "Impacto Institucional".

El presente documento indica los objetivos del proyecto, cómo se ha organizado el trabajo entre profesores y estudiantes, y finaliza con un apartado de experiencias y conclusiones a las que se ha llegado tras dos años de trabajo con el fin de que puedan ser de ejemplo y de utilidad para los lectores.

II. OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

El objeto principal del proyecto es la adquisición de competencias transversales en estudios universitarios mediante la participación en concursos de robótica con los siguientes objetivos:

- Aplicar lo estudiado en diferentes asignaturas. Los estudiantes que se involucran en el diseño de un robot de complejidad media tienen la oportunidad de poner en práctica lo estudiado en diferentes asignaturas del Grado o Máster en un proyecto multidisciplinar.
- Análisis e Integración de Sistemas. Debido a que un robot está formado por varios subsistemas que deben funcionar conjuntamente, el diseño y fabricación de un robot implica que el grupo de estudiantes aprenda a resolver cada uno de los problemas que implica los subsistemas por separado junto con la integración de todos ellos en un sistema complejo. Por lo tanto, los estudiantes y profesores implicados en estas competiciones deben poner en práctica múltiples disciplinas académicas que permitan abordar las tres partes

fundamentales: i) Estructura (cinemática y dinámica del robot, algoritmos de control de bajo nivel,...), ii) decisión y estrategia y iii) sistema completo (integración del diseño de la estructura con la estrategia).

- Gestión de proyectos y trabajo en equipo. El diseño de un robot para participar en una competición es un claro ejemplo de un proyecto de ingeniería con una fecha concreta de finalización en la que participa un equipo de personas con un objetivo común. En el desarrollo del proyecto es imprescindible una buena gestión, no sólo de los recursos económicos y materiales, sino de las comunicaciones entre los miembros, de la gestión del tiempo, etc.

- Motivación para estudiantes de cursos intermedios. En los casos en que el diseño de robots se plantea en cursos intermedios, los estudiantes tienen la posibilidad de aprender conocimientos y técnicas que luego estudiarán en profundidad en cursos posteriores aumentando su interés y ayudando a su posterior aprendizaje.

- Análisis de soluciones y madurez intelectual. Cuando un equipo comienza el diseño de un robot para una competición no sólo debe pensar en cómo solucionar un problema sino en cómo lo solucionarán los demás. Esto les fuerza a pensar con mucha más amplitud de miras que si se tratara de un simple proyecto de diseño. Además, en la competición pueden comprobar las diferentes soluciones utilizadas y aprender de ellas. Esto se relaciona con un aumento de la madurez intelectual de los participantes según se indica en el modelo de madurez intelectual de Perry [24].

- Experiencias personales. No hay que dejar de lado la experiencia personal que los estudiantes obtienen al trabajar en un equipo de trabajo, en viajar para asistir a una competición y compartir sus conocimientos y experiencias con personas que tienen sus mismas inquietudes. Se puede observar que los beneficios presentados no están relacionados directamente con los conocimientos técnicos específicos de robótica (algoritmos, circuitos, etc.) sino más con habilidades más generales muy importantes en ingeniería.

- Mejora de la empleabilidad. Experiencias previas demuestran que los estudiantes que participan en estas actividades mejoran su empleabilidad al poder presentar evidencias en el currículo de haber participado en un equipo multidisciplinar [16-23].

III. EUROBOT. DESCRIPCIÓN DE LA COMPETICIÓN

Debido a que se considera de interés para la formación de los estudiantes la participación en grupos de trabajo orientados al diseño y a la construcción de robots, se propuso la participación en la competición de robots EUROBOT [25], como el punto de partida para organizar los grupos de trabajo (profesores y estudiantes), las actividades de formación previa y el desarrollo del proyecto.

Creado en 1998, EUROBOT es un concurso internacional de robótica para aficionados abierto a equipos de jóvenes, organizado en proyectos estudiantiles o en clubes independientes. Los robots construidos para este concurso son robots autónomos.

El concurso EUROBOT destaca valores como el juego limpio, la solidaridad, el intercambio de conocimientos y la creatividad. El objetivo principal de este evento es alentar a los jóvenes a practicar la robótica con diversión, ofreciéndoles una experiencia técnica y humana inolvidable. Cada año, se define un nuevo tema, con acciones originales para realizar y un robot 100% construido por los participantes. La gestión de

proyectos, el intercambio de tareas, la autonomía, el espíritu de equipo y la experimentación son los valores centrales para lograr el proyecto y estar listo para competir en el Día D.

El concurso EUROBOT tiene lugar en Europa, pero está abierto a todos los países del mundo, dentro del límite de tres equipos por país. Los países con más de tres equipos nacionales deben organizar una clasificación nacional, al final de la cual tres equipos se clasificarán para la final internacional. La organización de EUROBOT y sus concursos nacionales requieren la buena voluntad y la participación de muchos voluntarios en varios países.

El límite de edad para participar en EUROBOT es de 30 años. Sin embargo, El proyecto puede ser supervisado por alguien que supere el límite de edad (maestro, padre, líder del grupo, etc.), pero todos los elementos del robot o robots deben ser diseñados por los participantes. En este contexto, los robots fabricados a partir de chasis o bases comerciales serán descalificados.

Este documento explica las experiencias del equipo de robótica de la Universidad de Alcalá en las competiciones de 2019 y 2020. En 2019, se estructuró la competición alrededor de la tabla periódica de Dmitri Mendeleev debido al 150 aniversario de su formulación. Los objetivos eran: clasificar y pesar átomos, crear nuevos elementos, realizar un experimento propio y predecir el resultado de cada competición antes de empezar. En 2020, la competición está estructurada alrededor del 500 aniversario de la primera vuelta al mundo en barco y los objetivos son: crear rutas marítimas, levantar unas mangas de viento derribadas por un temporal, encender un faro, situar los robots (barcos) en “puerto seguro” al finalizar la competición, izar banderas para comunicarse con otros barcos y estimar los puntos conseguidos. En ambas competiciones, es fundamental tener una plataforma rápida y precisa, que esté equipada con manipuladores y que sea capaz de orientarse, evitar colisiones con otros robots e identificar los objetos de interés. Por lo tanto, entran en juego las áreas de mecánica, para el diseño de chasis y base móvil, control de bajo de nivel, electrónica, control de alto nivel, visión, inteligencia, ... Además, dada la magnitud del proyecto, es muy importante la organización interna del equipo de estudiantes, para planificar y asignar tareas, así como la organización externa: comunicación con profesores y captación de patrocinadores. Por este motivo, esta actividad está abierta a otras titulaciones que no son de ingeniería.

IV. FORMACIÓN DEL EQUIPO

La formación del equipo comenzó a finales del curso 2017/2018, partiendo de la iniciativa de los participantes del trabajo [14]. La organización comenzó con un llamamiento a todos los docentes del centro, donde existen 5 departamentos diferentes, y los estudiantes de todas las titulaciones de grado y máster. En este primer paso se explicó en qué consistía una competición de robótica y las necesidades, económicas y de conocimiento, mínimas para que el proyecto pudiese ser útil y el resultado competitivo.

Las charlas sirvieron para motivar al primer grupo de estudiantes y para implicar al primer grupo de profesores. Estos profesores, pertenecientes a las áreas de electrónica, teoría de la señal, ciencias de la computación, automática, eléctrica, mecánica y expresión gráfica, organizaron unos cursos de formación básicos para los estudiantes. En estos cursos se hacía hincapié en los conocimientos que eran necesarios para poder diseñar y construir un robot que fuera competitivo para EUROBOT.

El primer curso que se impartió fue organizado de la siguiente forma:

Día 1 (7 horas):

- 9:00 a 9:30 - Introducción general.
- 9:30 a 10:30 - Introducción al diseño mecánico (cinemática y dinámica de movimiento, concepto de modelo, ...).
- 10:30 a 11:30 - Introducción al control de alto nivel y estrategia (sistemas operativos en tiempo real, filosofía de funcionamiento, módulos que hay de alto nivel, simulador y ejemplos prácticos).
- 12:00 a 13:00 Introducción a la visión (fases del reconocimiento de video, software con el que trabajar y ejemplos).
- 13:00 a 14:00 - Introducción a los sistemas empotrados (microcontroladores, interrupciones, temporizadores, medida de velocidad de un motor, generación de señales de control de motores, máquinas de estados programadas e implementación de un algoritmo de control).
- 15:00-17:30 – Prácticas con robots móviles (Lego Mindstorms implementando algoritmos de control para mantener la distancia a un objeto o seguir una línea con un control PID. Odometría).

Día 2 (4 horas):

- 9:30 a 10:30 - Introducción al diseño mecánico II (diseño de piezas en 3D, representación gráfica de piezas y posibilidades del software gráfico).
- 10:30 a 11:30 - Introducción al control de alto nivel y estrategia II (continuación día 1).
- 12:00 a 13:00 - Introducción a la visión II (continuación día 1).
- 13:00 a 14:00 - Introducción a los sistemas empotrados II (continuación día 1).

Con este curso se introdujeron todos los conceptos básicos al estudiante interesado para que entendiese la importancia de todas las áreas y facilitar la planificación y comunicación entre ellos.

Una vez recibido el curso y tras la publicación de la primera versión de las reglas del concurso, los estudiantes decidieron organizarse de la siguiente forma:

- Diseño mecánico: 3 estudiantes de 2º de Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial (GIEAI)
- Electrónica y control de bajo nivel: 1 de 3º Grado en Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones (GIEC), 1 del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones y 2 de 3º GIEAI
- Visión y control de alto nivel: 4 estudiantes de Grado en Ingeniería de Computadores (GIC)
- Administración: 2 estudiantes de 4º Grado de Sistemas de Información (GSI).

En total 13 estudiantes entre los que había 3 mujeres (un 23%) que está en la media de la relación entre hombres y mujeres en los estudios de estas carreras en la Universidad de Alcalá (22% de mujeres).

Los profesores se organizaron en 1 capitán o supervisor mayor de 30 años, que pertenecía al área de ciencias de la computación, más el resto de profesores, los cuales asistían a

las reuniones convocadas y resolvían las dudas puntuales que los estudiantes iban transmitiendo.

La publicidad de los profesores y los estudiantes del primer año hicieron que el número de participantes para la edición de 2020 fuese considerablemente mayor. Además, se corrigieron errores y se reestructuró el curso y la organización, tanto de los estudiantes como de los profesores.

El segundo curso que se impartió por los profesores se organizó en 5 días (8 al 12 de julio de 2019, fuera de calendario de exámenes), donde se impartieron 6 horas presenciales cada día más unas prácticas guiadas. Cada uno de los días estaba dedicado a un área concreta. Además, para acceder a este curso, los estudiantes tenían que hacer un ingreso de 20€, que fue ingresado en el centro de coste del equipo para adquirir material para el robot. La asistencia a este curso, la realización de un trabajo y su defensa son reconocidos con 2,5 ECTS transversales. De esta forma, el curso se aprovechó mucho mejor que en la anterior edición. La distribución por contenidos fue:

Día 1:

- Presentación del curso.
- Introducción a los robots móviles: sensores y actuadores.
- Introducción a los microcontroladores y programación de sistemas en tiempo real.
- Prácticas de control de un robot móvil.

Día 2:

- Elementos mecánicos en un robot móvil autónomo: materiales, estructuras, procesos de fabricación, etc.
- Cinemática y dinámica. Transmisión del movimiento.
- Diseño de piezas en 3D utilizando Autodesk Inventor.

Día 3

- Técnicas de procesamiento de imagen.
- Posicionamiento de robots móviles.
- Prácticas de posicionamiento por odometría.

Día 4

- Planificación de alto nivel. Introducción a ROS.
- Comunicación de ROS con el entorno.
- Ingeniería del Software
- Prácticas con ROS.

Día 5

- Técnicas de gestión de proyectos. Planificación, seguimiento y documentación.
- Técnicas de comunicación interpersonal y resolución de conflictos
- Explicación del proyecto Eurobot 2019 por parte de los estudiantes de la edición anterior.

Los estudiantes establecieron 5 equipos como base para organizarse: mecánica, electrónica, control, inteligencia y gestión.

En cada uno de los equipos se ha designado un portavoz, que se comunica a su vez con el portavoz de gestión. Cada uno de los equipos se hacen responsables del reparto de tareas y se apoyan entre ellos cuando es necesario. Además, los profesores han designado a su vez tres portavoces técnicos y otro para gestión y control de cuentas. Uno de ellos hará de supervisor mayor de 30 años durante la competición. La comunicación formal entre ambos portavoces (estudiante y

profesor) canaliza los problemas que vayan ocurriendo. De esta forma, los estudiantes rinden cuentas de forma semanal, comprometiéndose a cumplir un conjunto de tareas y objetivos. Por último, cabe destacar, que la formación de los equipos ha ido variando en función de las necesidades del proyecto, siendo más flexible y permitiendo adaptarse a las cargas de trabajo. Esta estructura ha permitido que el grupo de 30 estudiantes y 15 profesores se pueda coordinar mejor que en la anterior edición, cuando el número de participantes era considerablemente menor.

Entre los 30 estudiantes hay 3 mujeres (10%), cifra que está por debajo de la media en estas carreras en la Universidad de Alcalá (22%). Este es un aspecto a mejorar en las ediciones siguientes.

V. VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA. ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Esta sección se divide en diseño metodológico y análisis e interpretación de los resultados.

A. Diseño metodológico

Se desea evaluar el impacto de la experiencia en los estudiantes participantes en el equipo en relación con el desarrollo de competencias transversales, así como conocer el tipo de fuentes de información que utilizan en su trabajo. Para ello, se ha decidido contrastar la siguiente información:

- Información personal: Edad y sexo.
- Información académica: Estudios que cursan y curso con mayor número de asignaturas.
- Desarrollo de competencias transversales:
 - Grado de importancia que los estudiantes creen que tendrá cada competencia en su futura (o actual) vida profesional.
 - El nivel de puesta en práctica y/o desarrollo con la participación en el equipo de robótica.
 - Comparar la participación en el equipo de robótica con la mayoría de las asignaturas cursadas en la titulación hasta la fecha.
- Participación en el equipo:
 - Equipo en el que están trabajando e implicación en cada uno de ellos.
 - Fuentes de información y ayudas recibidas durante el trabajo.

Se opta por realizar un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo para lo que se realiza un cuestionario on-line que es enviado a los miembros del equipo de las ediciones de 2019 y 2020. Las preguntas se han preparado para tener en cuenta los 3 itinerarios posibles: i) estudiantes que participaron en 2019 y que decidieron no continuar, bien por motivos profesionales (terminaron los estudios) o personales (no querían invertir tiempo en la experiencia para enfocarse en terminar sus estudios, o simplemente porque su experiencia no fue grata); ii) estudiantes que han continuado en esta edición, analizando en qué grado su implicación ha cambiado de una edición a otra, ahora que ya son considerados como veteranos; iii) estudiantes que se han incorporado para participar en la competición de 2020 por primera vez.

También se persigue ver cómo ha cambiado la implicación de los miembros del equipo, los nuevos y veteranos, junto con la forma en la que se han organizado y cómo son capaces de buscar la información necesaria para diseñar y construir el robot. Esto es importante para poder ver qué consecuencias ha tenido cambiar el plan de formación.

Se han incluido tres preguntas, que contienen un gran número de competencias transversales identificadas en el proyecto Tuning [5] (ver Tabla I), y donde se les pregunta:

- “Indica el grado de importancia que crees que cada competencia tendrá en tu futura (o actual) vida profesional”. Valorado con escala Likert de 5 niveles (Muy poco importantes, Poco importantes, Neutral, Importantes, Muy importantes)
- “Indica para cada una de las competencias transversales el nivel en el que crees que las has puesto en práctica y/o desarrollado con tu participación en el equipo de robótica”. Valorado con escala Likert de 5 niveles (Muy poco, Poco, Ni poco ni mucho, Mucho, Muchísimo).
- “Indica para cada una de las competencias transversales el nivel en el que crees que las has puesto en práctica y/o desarrollado con tu participación en el equipo de robótica en comparación con las desarrolladas en la mayoría de las asignaturas de la carrera.” Valorado con escala Likert de 5 niveles (Mucho menos, Menos, Igual, Más, Mucho más)

B. Análisis e interpretación de los resultados

En esta sección se resumen los resultados del cuestionario descrito anteriormente, recogiendo aspectos como el grado de satisfacción y la adquisición de competencias. Toda la información recogida servirá para ir mejorando la organización del equipo y corregir errores en la planificación y ejecución del proyecto. Los resultados se van agrupando en las secciones descritas anteriormente.

1) Características de los participantes

Se han obtenido respuestas de 23 estudiantes, 20 de los cuales son hombres y 3 son mujeres. La edad está comprendida entre los 19 años (estudiantes de segundo) y los 24 años (estudiantes que están o ya han finalizado sus titulaciones). El número de participantes que están comprendidos entre los 19 y 21 años es de 16.

De los cuestionarios recibidos, 16 corresponden con estudiantes que están participando en la edición 19/20 por primera vez, 5 que han participado en la edición 18/19 y la 19/20 y 2 que solo participaron en la edición 18/19.

2) Información académica

De los que han contestado a la encuesta, están repartidos en 16 estudiantes en el Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial, 4 estudiantes en el Grado en Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones y 3 estudiantes en el Grado en Ingeniería de Computadores. Teniendo en cuenta el curso que están realizando, hay estudiantes en segundo (5), tercero (9) y cuarto (7) y dos que ya han finalizado los estudios. Todos los estudiantes de segundo curso tienen una edad de 19 o 20 años, indicando este aspecto que van a curso por año.

3) Desarrollo de competencias transversales

La lista de competencias evaluadas son las correspondientes al Proyecto Tuning [5] que se muestran en la Tabla I. En la Tabla II se muestran el grado de importancia, según los estudiantes, y la puesta en práctica dentro del proyecto y en comparación con la mayoría de las asignaturas. En la Tabla II se representa, para cada una de las medidas, el valor de la media (Media), el de la mediana (Md) y el orden de importancia teniendo en cuenta la mediana en primer lugar y luego la media. La mediana se ha representado con un código de intensidad de grises por claridad (el más oscuro es

5 y el más claro es 2). La tabla está ordenada según el nivel en que los estudiantes creen que están desarrollando la competencia al participar en el equipo (de mayor a menor).

Con una vista general de la Tabla II, puede observarse que los estudiantes piensan que con la participación en el equipo desarrollan muchas más competencias transversales que la mayoría de asignaturas de la carrera. Cabe destacar que entre las competencias que se desarrollan dentro del proyecto están aquellas que se consideran como muy importantes para su futura vida profesional.

TABLA I: COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Id.	Competencia
1	Capacidad de análisis y síntesis
2	Capacidad de organizar y planificar
3	Capacidad de expresarse de forma oral y por escrito en la lengua materna
4	Conocimiento de una segunda lengua
5	Capacidad de buscar información en diferentes fuentes y analizarla
6	Capacidad de resolver problemas
7	Capacidad de tomar decisiones
8	Motivación por lo que estás haciendo
9	Capacidad de trabajo bajo presión
10	Capacidad de crítica y de autocrítica
11	Trabajo en equipo
12	Competencias de comunicación interpersonal
13	Capacidad para trabajar en un equipo interdisciplinar
14	Capacidad para comunicarse con expertos de otros campos
15	Apreciación de la diversidad y de la multiculturalidad
16	Capacidad para trabajar en un contexto internacional
17	Compromiso ético. Responsabilidad social.
18	Sensibilidad hacia temas medioambientales
19	Capacidad de negociación
20	Liderazgo
21	Capacidad para poner el conocimiento en práctica
22	Habilidad de investigación
23	Capacidad de aprender
24	Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones. Adaptabilidad.
25	Capacidad para generar nuevas ideas. Creatividad.
26	Entender la cultura y costumbres de otros países
27	Capacidad para trabajar de forma independiente. Autonomía en las decisiones.
28	Diseño y gestión de proyectos
29	Iniciativa y espíritu emprendedor
30	Preocupación por la calidad
31	Deseo de triunfar
32	Capacidad para gestionar cambios en el proyecto e iniciativas de cambio

^a. Listado resumen del documento: <http://www.deusto-publicaciones.es/deusto/pdfs/tuning/tuning04.pdf>.

Las competencias transversales que los estudiantes consideran que están desarrollando más debido a su participación en el equipo son (valoradas por al menos más de la mitad como “Muchísimo”):

- Deseo de triunfar.
- Capacidad de resolver problemas.
- Capacidad de aprender.
- Capacidad para poner el conocimiento en práctica.
- Motivación por lo que estás haciendo.
- Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones. Adaptabilidad.
- Capacidad para generar nuevas ideas. Creatividad.
- Capacidad para gestionar cambios en el proyecto e iniciativas de cambio.
- Trabajo en equipo.

Las que menos creen que han desarrollado, valoradas como “Ni poco ni mucho” por más de la mitad:

- Capacidad de expresarse de forma oral y por escrito en la lengua materna.
- Capacidad de negociación.
- Capacidad para trabajar en un contexto internacional.
- Compromiso ético. Responsabilidad social.
- Conocimiento de una segunda lengua.
- Apreciación de la diversidad y de la multiculturalidad.
- Sensibilidad hacia temas medioambientales.
- Entender la cultura y costumbres de otros países.

En esta tabla se incluye (primera columna) el número de la competencia correspondiente a la tabla I, ordenadas según la puesta en práctica dentro del proyecto EUROBOT. De esta forma, se pueden comparar la importancia de esta competencia en la vida profesional y la puesta en práctica dentro de EUROBOT y de las asignaturas. El resumen que puede hacerse es que las competencias asociadas con la capacidad de resolver problemas y la capacidad aprender, que son la segunda y la tercera más importante para los estudiantes desde el punto de vista profesional, son mucho mejor desarrolladas en EUROBOT que en las asignaturas de la titulación. Otras competencias también importantes, que se desarrollan mejor en EUROBOT son: deseo de triunfar y motivación por lo que estás haciendo. Entre las que competencias que menos se desarrollan en el proyecto están la capacidad de negociación y la capacidad para trabajar en un contexto internacional pero en ambas se considera que se desarrollan más que en la mayoría de asignaturas.

4) Participación en el equipo

De los participantes en la encuesta, una persona, perteneciente al GIEC, participó en la edición de 2019 y no está con el equipo en 2020. Este estudiante se vio implicado en las tareas de mecánica y electrónica, principalmente. Nos consta, aunque no han contestado a la encuesta, que otros 3 miembros de la edición de 2019 no permanecieron en 2020. Estos casos son debidos a desvinculación con la universidad y por problemas de coordinación en la competición de 2019 (uno de ellos). Este es uno de los motivos por los cuales se incorporó la gestión de conflictos en el curso previo para preparar la competición de 2020.

TABLA II: VALORACIÓN DE 1 A 5 DE LAS COMPETENCIAS

Id	Competencia	Importancia para el futuro profesional			Desarrollo al participar en el equipo			Desarrollo respecto de otras asignaturas		
		#	Media	Md	#	Media	Md	#	Media	Md
31	Deseo de triunfar	16	4,35		1	4,71		10	4,54	
6	Capacidad de resolver problemas	2	4,74		2	4,57		4	4,69	
23	Capacidad de aprender	1	4,78		3	4,52		11	4,54	
21	Capacidad para poner el conocimiento en práctica	8	4,48		4	4,48		8	4,62	
8	Motivación por lo que estás haciendo	9	4,39		5	4,48		12	4,54	
24	Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones. Adaptabilidad.	4	4,7		6	4,43		2	4,77	
25	Capacidad para generar nuevas ideas. Creatividad.	14	4,43		7	4,38		1	4,92	
32	Capacidad para gestionar cambios en el proyecto e iniciativas de cambio	18	4,3		8	4,33		9	4,62	
11	Trabajo en equipo	3	4,7		9	4,24		3	4,77	
28	Diseño y gestión de proyectos	10	4,26		10	4,24		5	4,69	
10	Capacidad de crítica y de autocritica	23	4,17		11	4,24		21	4,31	
30	Preocupación por la calidad	12	4,48		12	4,19		23	4,15	
9	Capacidad de trabajo bajo presión	11	4,41		13	4,14		25	3,92	
22	Habilidad de investigación	21	4,22		14	4,14		13	4,54	
7	Capacidad de tomar decisiones	5	4,57		15	4,1		6	4,69	
13	Capacidad para trabajar en un equipo interdisciplinar	7	4,52		16	4,1		7	4,69	
1	Capacidad de análisis y síntesis	13	4,43		17	4,1		14	4,54	
5	Capacidad de buscar información en diferentes fuentes y analizarla.	15	4,35		18	4,05		22	4,31	
27	Capacidad para trabajar de forma independiente. Autonomía en las decisiones.	25	4,13		19	4,05		16	4,46	
14	Capacidad para comunicarse con expertos de otros campos	20	4,22		20	3,95		15	4,54	
2	Capacidad de organizar y planificar	6	4,52		21	3,9		17	4,46	
20	Liderazgo	19	4,26		22	3,81		18	4,46	
12	Competencias de comunicación interpersonal	24	4,13		23	3,76		19	4,46	
29	Iniciativa y espíritu emprendedor	17	4,3		24	3,71		20	4,46	
3	Capacidad de expresarse de forma oral y por escrito en la lengua materna	27	4,04		25	3,43		29	3,08	
19	Capacidad de negociación	28	4,04		26	3,05		24	4,15	
16	Capacidad para trabajar en un contexto internacional	26	4,09		27	3		26	3,92	
17	Compromiso ético. Responsabilidad social.	31	3,48		28	2,81		27	3,38	
4	Conocimiento de una segunda lengua	22	4,17		29	2,62		30	3,08	
15	Apreciación de la diversidad y de la multiculturalidad	30	3,7		30	2,48		28	3,15	
18	Sensibilidad hacia temas medioambientales	29	3,96		31	2,43		31	3,08	
26	Entender la cultura y costumbres de otros países	32	3,17		32	2,14		32	3	

Respecto a la competición de 2020, 14 de los que han contestado a la encuesta, se vieron implicados de alguna forma en 2019. De ellos, cabe destacar la implicación en mecánica, electrónica y control de bajo nivel de 7 de ellos. De estos 7, uno de ellos ha pasado a tener mucho más peso en gestión en 2020. Hay 3 personas que se vieron muy implicadas en visión y control de alto nivel, que siguen desarrollando este papel en 2020. Además, uno de ellos también está bastante implicado en gestión. Del resto de personas que no han participado en 2019, destacan 4 de ellas, con muy alta implicación en mecánica (3) e inteligencia (1). El resto de nuevos participantes no están teniendo un papel muy activo en esta edición.

Por último, se les pregunto, la influencia de determinadas fuentes de información en tu trabajo en el equipo de robótica, ordenadas de 0 a 10. Por orden, estos resultados fueron:

- Mis propios hallazgos (8/10).
- Internet (8/10).
- El consejo de los profesores (7,5/10).
- Mis compañeros (7,4/10).
- Mis estudios de diferentes asignaturas (7/10).
- Mi experiencia previa (5,4).

El resto, como empresas, patrocinadores y otras fuentes, no tuvieron especial relevancia para la mayoría. No obstante, hay que destacar que 5 estudiantes marcaron la opción de empresas y patrocinadores con una nota igual o superior a 8. Esto fue debido a las visitas que se han ido realizando y a cursos específicos organizados por estas empresas para ciertos miembros del equipo. Esta información se resume en la Figura 1.

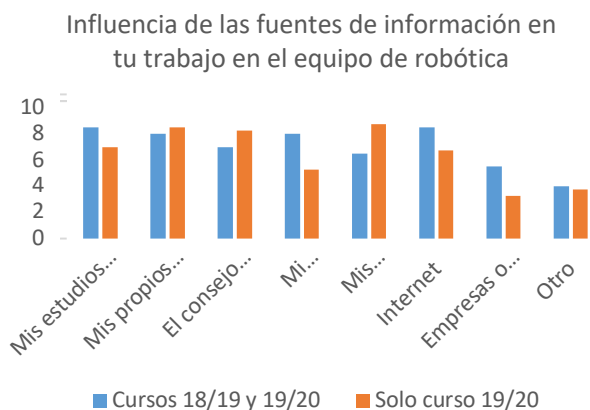


Figura 1: Valor medio de la influencia de determinadas fuentes de información valoradas de 0 a 10 por los estudiantes. De izquierda a derecha se muestran: Mis estudios de diferentes asignaturas, mis propios hallazgos, el consejo de los profesores, mi experiencia previa, mis estudios de diferentes asignaturas, internet, empresas o patrocinadores y otros.

VI. CONCLUSIONES

Durante estos dos primeros años de la experiencia, tanto docentes como estudiantes hemos entendido lo importante que es realizar tareas que nos ayuden a relacionar las áreas de conocimiento y las asignaturas que impartimos o aprendemos. Además, también hemos comprobado que es necesario dedicar tiempo y esfuerzo para que los estudiantes puedan adquirir las competencias transversales. La adquisición de estas competencias es una tarea que involucra a todas las

personas implicadas, siendo de especial relevancia la coordinación del personal docente. El ejemplo más claro que hemos tenido fue la organización del curso previo. Como puede comprobarse en este texto, en el primer año de vida del proyecto se planteó un curso general sin hacer el suficiente hincapié en la información que debería recibir el estudiante y cómo estaba relacionada. Esta primera experiencia sirvió para unir más docentes a la causa y estructurar sesiones donde estaban presentes más de un docente. Es llamativo comprobar cómo los docentes participaban y aclaraban, desde su punto de vista, la información que se estaba exponiendo en ese momento. Esto también animó a los estudiantes a tener un papel más activo durante esas horas presenciales.

Otro aspecto a destacar son las conclusiones extraídas de la encuesta. Aunque hemos podido comprobar qué es lo más importante para los estudiantes y el grado de adquisición, la parte de evaluación y calificación no ha quedado lo suficientemente clara. Por lo tanto, sería necesario añadir rúbricas a estas competencias que permitan a los docentes implicados medir esto de forma más objetiva.

Por último, los autores de este trabajo consideran que la importancia de las competencias transversales no debería tratarse en asignaturas y actividades aisladas. Destacar en este punto que en la reciente acreditación EUR-ACE, nuestras titulaciones de ingeniería tuvieron como punto débil la evaluación y calificación de las competencias transversales dentro de las asignaturas de los diferentes planes de estudio, siendo este punto más crítico en los másteres impartidos.

Por lo tanto, los trabajos futuros que debemos realizar deberían ser:

1. Reorganizar nuestras guías docentes para hacer titulaciones donde la docencia no esté parcelada, contando con una mayor colaboración entre el profesorado y los estudiantes. Esto permitiría organizar mejor la adquisición de estas competencias durante el tiempo que los estudiantes están cursando sus titulaciones.
2. Mejorar los mecanismos de coordinación docente presentes en nuestro sistema de calidad, haciendo especial hincapié en las actividades de enseñanza/aprendizaje. Se planteará un mapa que establezca y responsabilice a cada docente de estas competencias transversales, las cuales suelen incluirse sin tener un peso en la calificación y expediente final del estudiante.

Para concluir, el proyecto EUROBOT continuará como iniciativa de innovación docente en la reciente clasificación de Retos. El objetivo de esta iniciativa es seguir trabajando para que los estudiantes puedan adquirir un grado mayor de competencias transversales, que los docentes coordinen mejor las asignaturas de las titulaciones y mostrar a todas las personas que se acerquen a esta iniciativa, bien por visitas guiadas, actividades de promoción de la universidad (AULA, Semana de la Ciencia,...), cómo se trabaja en la universidad para que nuestros futuros profesionales sepan resolver en equipo los problemas que la sociedad demanda.

ACKNOWLEDGMENT

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Planificación y Estrategia de la Universidad de Alcalá la financiación de este proyecto así como a las donaciones de material realizadas por las empresas Maxon y CoxGomyl, así como el apoyo recibido

por los departamentos y la dirección de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá.

También agradecemos la participación de los estudiantes en el proyecto y en la encuesta de este trabajo. Nos gustaría resaltar que, aunque teóricamente son los más beneficiados al participar en la actividad, son la pieza más importante para que el proyecto siga adelante. Su trabajo, dedicación y trato personal enriquece a todos los participantes.

REFERENCES

- [1] C. Salazar, and P. Rivera-Vargas, "Competencias transversales en los planes de estudio de las titulaciones de grado: los esfuerzos de Bolonia en calidad universitaria", Encuentros, vol. 10, pp. 61-72, 2012.
- [2] A. Barroca, and J. Soares, "Design thinking mindset applied to education and training," 11th International Technology, Education and Development Conference (INTED2017), Valencia, pp. 8435-8440, 2017.
- [3] C. Hué-García, "Competencias genéricas y transversales de los titulados universitarios," Universidad de Zaragoza (4 de diciembre de 2008). ISBN-10: 8477912335
- [4] R. Baskova, and Z. Strukova, "Innovation of education for the development of key competencies of university graduates,". Organization Tehnology and Management in Construction, vol. 9, no. 1, pp. 1565-1573, 2017.
- [5] J. González, and R. Wagenaar, "Tuning educational structures in Europe: II La contribución de las Universidades al proceso de Bolonia". Universidad de Deusto, 2006. ISBN: 978-84-9830-644-6. <http://www.deusto-publicaciones.es/deusto/pdfs/tuning/tuning04.pdf>. Consultado el 13/3/2020.
- [6] E. Macías, M. Rodríguez-Sánchez, J. L. Aguilera, and S. Gil-Hernández, "Adquisición de competencias transversales a través de la tutoría en la universidad", La Cuestión Universitaria, vol. 9, pp. 88-107, 2017.
- [7] R. Gurbutt, "Teaching innovation through collaborative learning to generate a model of motivation," 12th International Technology, Education, and Development Conference (INTED), Valencia, pp. 18-25, 2018.
- [8] N. Larraz, s. Vázquez, and M. Liesa, "Transversal skills development through cooperative learning. Training teachers for the future," On the Horizon, vol. 25, no. 2, pp. 85-95, 2017.
- [9] M. Hebles, C. Yaniz-Alvarez-de-Eulate, and M. Jara, "Impact of cooperative learning on teamwork competence", Academia-Revista Latinoamericana de Administración, vol. 32., no. 1, pp. 93-106, 2019.
- [10] J. S. Artal, J. M. Artacho, and E. R. Pascual, "Impact of different active methodologies on the learning of students in engineering," 10th International Technology, Education and Development Conference (INTED), Valencia, pp. 3611-3620, 2016
- [11] K. Burrows, and N. Wragg, "Introducing enterprise - research into the practical aspects of introducing innovative enterprise schemes as extra curricula activities in higher education", Higher Education Skills and Work-based Learning, vol. 3, no. 3, pp. 168-179, 2013.
- [12] B. S. Barker, G. Nugent, N. Grandgenett, and V. I. Admachuk, "Generating Transferable Skills in STEM through Educational Robotics," Robots in K-12 Education: A New Technology for Learning, pp54-65, 2012.
- [13] A. Tang, V. W. S Tung, and T. O. Cheng, "Dual roles of educational robotics in management education: Pedagogical means and learning outcomes," Education and Information Technolgies, pp. 1-13, 2019.
- [14] J. Pastor-Mendoza et al., "Students and teachers experiences in the completion of multidisciplinary Final Degree Projects," 2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE), La Laguna, pp. 1-8, 2018.
- [15] <https://www.enaee.eu/eur-ace-system/standards-and-guidelines/> Consultado 13/3/2020
- [16] J. Pastor-Mendoza, F. J. Rodríguez-Sánchez, and S. Cóbrecas-Álvarez, "The development of professional skills through robotics in electronic and electrical engineering," Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1967-1972, 2010.
- [17] J. Pastor-Mendoza, and P. Revenga. "Semana de la Robótica de la UAH" como herramienta de motivación, " Actas del IX Congreso TAE (Tecnologías Apicadas a la Enseñanza de la Electrónica), 2010.
- [18] J. Pastor-Mendoza, "Competiciones de Microrrobots como promoción de la Electrónica: ALCABOT-HISPABOT," VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. Proceeding del Congreso TAE, (2004)
- [19] J. Pastor- Mendoza, I. González and F. J. Rodríguez. "Participating in an international robot contest as a way to develop professional skills in engineering," FIE2008, 2008.
- [20] J. Pastor-Mendoza. "Evaluación de las mejoras en la formación en aptitudes y competencias de los estudiantes de ingeniería que participan en competiciones de robots móviles autónomos," Proyecto del Programa de Estudios y Análisis del Ministerio de Educación 2007
- [21] J. Pastor-Mendoza, "ALCABOT-HISPABOT Autonomous Robot Competition in Spain," Proceedings of the 1st International Workshop on Educational Robotics, Catania (Sicily – Italy), 2006
- [22] J. Pastor-Mendoza et al., "Evolución de la competición de robots de la Universidad de Alcalá," I Seminario y Concurso Nacional de Microrrobots. Hispabot'03, Alcalá de Henares, 2003.
- [23] J. Pastor-Mendoza, I. González, and F. J. Rodríguez. "Participating in an international robot contest as a way to develop professional skills in engineering students," 38th Annual Frontiers in Education Conference. IEEE, 2008.
- [24] W. G. Perry Jr.. "Forms of Ethical and Intellectual Development in the College Years: A Scheme", Jossey-Bass higher and adult education series, ISBN: 978-0-7879-4118-5, 1998.
- [25] <https://www.eurobot.org/>. Consultado el 11/03/2020.

Control de una Mano Biónica basado en Redes Neuronales y técnicas de reconocimiento de gestos mediante múltiples sensores EMG

J.S. Artal-Sevil

Department of Electrical Engineering
Higher Technical Engineering School
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
jsartal@unizar.es

F.J. Pérez-Cebolla

Department of Electronic Engineering
Higher Technical Engineering School
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
fperez@unizar.es

A. Pascual-Acón, J.A. Domínguez

Department of Electrical Engineering
Higher Technical Engineering School
University of Zaragoza
Zaragoza, Spain
jadona@unizar.es

Abstract— En el presente documento se muestra el desarrollo e implementación de un algoritmo de control, basado en redes neuronales, destinado al accionamiento de una pequeña prótesis robótica. El sistema de reconocimiento de gestos está basado en múltiples sensores EMG superficiales. De esta forma ha resultado posible controlar el prototipo desarrollado de una forma sencilla y eficaz. Estos sensores sirven como puente para detectar los pequeños pulsos eléctricos producto de la actividad muscular y transformarlos en una señal analógica que el módulo de control es capaz de filtrar e interpretar. El trabajo Fin de Grado/Máster (TFG/TFM), constituye una tarea académica que permite valorar el conjunto de habilidades y competencias adquiridas por los estudiantes durante su periodo de formación. En general, el desarrollo de sistemas robóticos siempre supone una motivación extra en los estudiantes. De este modo se presenta una aplicación electrónica novedosa y de actualidad como es la activación y estrategia de control de una prótesis biónica. El propósito ha sido simular el movimiento real de los dedos de la mano. Al mismo tiempo se discuten los diferentes conceptos y detalles de su implementación. La aplicación de redes neuronales como estrategia de control de la mano biónica ha permitido desarrollar un control en tiempo real, obteniéndose unos resultados muy satisfactorios.

Keywords— Neural Networks, Bionic Hand, Robotic Arm, Sensor based Medical Application, ECG/EMG signals, Arduino, Surface EMG Sensor, Open Source Projects, Data Acquisition System, Biomechanical model, Low Cost.

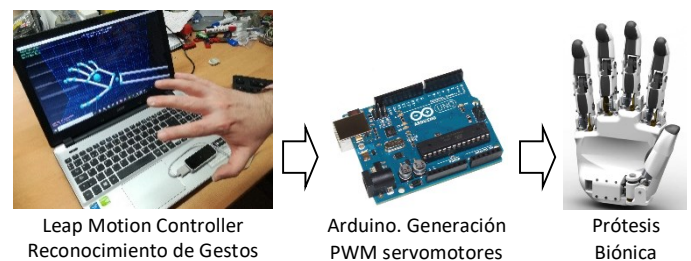
I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad diferentes soluciones tecnológicas y biomédicas están apareciendo con el propósito de ayudar a las personas a recuperar algunas de sus funciones físicas perdidas o incluso a acelerar los procesos de rehabilitación. Así en estos últimos años han aparecido muchos proyectos *Open Source*, de código abierto y sin ánimo de lucro, que permiten desarrollar distintas prótesis robóticas impresas en tecnología 3D [1], [2]. En general estos modelos mecánicos poseen una baja precisión, pero permiten implementar fácilmente diferentes algoritmos de control, siempre con el propósito de simular los movimientos de la mano en tiempo real. De este modo, el documento aquí presentado muestra una aplicación electrónica novedosa y de actualidad, el desarrollo e implementación de un sistema de control por reconocimiento de gestos, mediante la aplicación de redes neuronales y múltiples sensores EMG superficiales.

En este supuesto, el propósito ha sido el desarrollo de una estrategia de control para conseguir que las acciones llevadas a cabo por la mano biónica se parezcan lo máximo posible a su equivalente real. Considerando en todo momento la

influencia del movimiento a realizar. En la Fig. 1 se puede observar el diagrama del procedimiento seguido. Por otra parte, el coste de fabricación de estos prototipos no resulta excesivamente elevado. Esta tecnología ha demostrado su diversidad en múltiples aplicaciones en el campo médico. De este modo la aplicación de técnicas de impresión-3D ha permitido realizar el diseño de forma sencilla y posteriormente aplicarlo al modelado de una prótesis robótica. Así la utilización de estos diseños en trabajos fin de Grado o Máster (TFG/TFM) resulta una solución viable y factible para estimular a los estudiantes universitarios y motivarlos en el aprendizaje de nuevas técnicas de control avanzado. Desarrollar e implementar técnicas de control sobre diferentes elementos robóticos de forma local o remota es un ejemplo de actividad académica que siempre provoca un factor de motivación extra en los estudiantes de Ciencias, Tecnología o Ingeniería (STEM).

Fig. 1. Ejemplo del diagrama esquemático del entorno de usuario: reconocimiento de gestos (*Leap Motion Controller*), procesado y envío de



la información (*Arduino*) junto con la prótesis biónica.

El objetivo inicial ha sido desarrollar una técnica de control mediante redes neuronales de fácil implementación por los estudiantes y destinada a la simulación de los movimientos de una prótesis biónica con múltiples grados de libertad (5-DOF). La aplicación de sensores superficiales electromiográficos (EMG/ECG) ha permitido llevar a cabo el control del prototipo de una forma bastante sencilla y eficaz. El propósito ha sido mostrar la utilidad de la teoría con un caso biomédico práctico-real, al mismo tiempo que el estudiante desarrolla su TFM (Trabajo Fin de Máster).

Así pues, se presenta un algoritmo de control implementado sobre una pequeña prótesis robótica. La estrategia de control utilizada está basada en la aplicación de redes neuronales. Los objetivos iniciales marcados al comienzo del proyecto se han resuelto de manera satisfactoria. Como resultado se ha desarrollado el control de un prototipo que es capaz de emular los diferentes grados de libertad (5-DOF) correspondientes a los dedos de una mano. De este

modo se ha obtenido un prototipo de mano biónica que ha superado las expectativas iniciales.

Este documento está organizado y estructurado de la siguiente manera. La sección 1 muestra una breve introducción del problema abordado indicando los objetivos perseguidos. El *state-of-the-art* de la tecnología utilizada, comparando algunos ejemplos y trabajos de investigación, es presentado en el epígrafe 2. Por otra parte, la sección 3 expone el procesamiento de la información. El sistema constituido por sensores EMG también es analizado. Así se presenta la estructura y los diferentes principios físicos que rigen el comportamiento del prototipo. Mientras el apartado 4 presenta la red neuronal utilizada y las diferentes reglas implementadas. *Matlab/Simulink* ha sido el software utilizado para verificar el comportamiento del sistema, así como su respuesta dinámica. Por último, las conclusiones junto con las distintas ventajas e inconvenientes de la estrategia implementada son mostradas en la sección 5.

II. STATE-OF-THE-ART

En esta última década, la literatura científica recoge diferentes técnicas y estrategias de control destinadas al manejo de prótesis robóticas. En la mayoría de las ocasiones son elementos externos controlados mediante las señales eléctricas que se producen cuando se contrae y expande el músculo de forma voluntaria. Muchos de estos subsistemas están basados en el procesamiento de las señales electromiográficas (EMG) obtenidas por medio de los sensores colocados sobre la piel. Esta técnica permite la detección y medición de los distintos biopotenciales eléctricos, que a su vez son adquiridos mediante varios electrodos ubicados en la superficie del brazo [1], ver ejemplo de electrodos en la Fig. 2.

Algunos investigadores como Beneteau *et al.* [3] y Benatti *et al.* [4] describen la implementación de un sistema de bajo coste destinado a la adquisición y procesamiento de señales EMG. Como novedad los equipos desarrollados son inalámbricos mientras que la información es procesada mediante un microcontrolador MSP430-TI o un ASIC, dependiendo del caso analizado. Los resultados obtenidos muestran una buena efectividad del hardware, durante el proceso de adquisición de datos. Así como un buen reconocimiento de gestos de los subsistemas en tiempo real. Los sistemas poseen la precisión de una interface analógica combinado con la flexibilidad de un μC de baja potencia y un alto rendimiento durante el periodo de procesamiento.

En los últimos años, numerosos autores han publicado estudios sobre la aparición de la tecnología de control avanzado por gestos y su posible interacción con la robótica. En esta misma línea, Artal-Sevil *et al.* [5], [6] presentan el diseño y control de un brazo robótico articulado. La técnica de control implementada se encuentra basada en el dispositivo *Leap Motion Sensor*. El objetivo es el control del prototipo en tiempo real y de forma inalámbrica. El diseño, desarrollo e implementación del brazo robótico son descritos a lo largo del documento. Los algoritmos asociados a la estrategia de control también son presentados. Asimismo, son mostrados los resultados obtenidos, indicando las diferentes ventajas e inconvenientes de la solución adoptada. Otros autores como Martín *et al.* [7] presentan el sistema de control de un brazo robótico basado en algoritmos de visión por computador, sensores ECG y dispositivos de medida inercial (IMU). La visión por computador está siendo utilizada en robótica para

determinar la posición de objetos en el espacio o la localización del sistema robótico. En este supuesto la estrategia de control está implementada en un ordenador debido a la necesidad de procesar gran cantidad de información.

Asimismo, Krausz *et al.* [8] presentan el diseño y desarrollo de una mano robótica con 6-DOF. El proyecto mostrado es gratuito y de código abierto (*Open Source*). En el documento es posible observar el diseño de cada uno de los mecanismos de movimiento de los dedos, así como los distintos elementos utilizados. Durante su diseño, los autores consideraron que el aspecto y las dimensiones de la mano biónica fuesen lo más parecido posible a un supuesto real. Finalmente, el prototipo fue testeado y posteriormente fabricado con el propósito de comprobar “*in-situ*” diferentes técnicas de control.

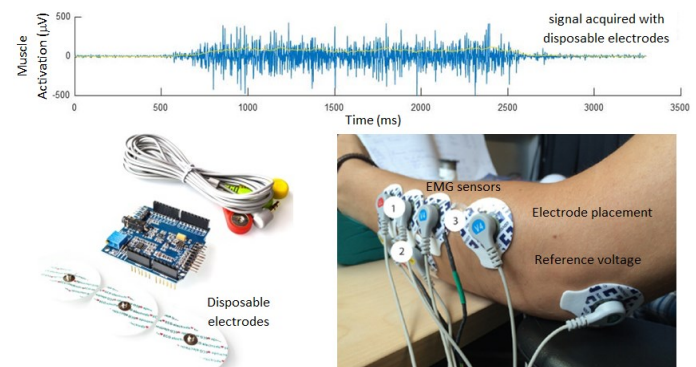


Fig. 2. Ejemplo de sensores EMG superficiales utilizados para el control de la mano biónica. El sistema incluye los diferentes electrodos EMG y la etapa de instrumentación en modo diferencial con objeto de obtener la señal analógica.

Con la implementación de los nuevos métodos de control, aparece la posibilidad de generar aplicaciones de carácter muy intuitivo. Así varios autores han publicado estudios sobre la aparición e interacción con la tecnología neuronal. De este modo, Ahmad *et al.* [9], proponen el uso de una estructura de red neuronal DNN para el control de una prótesis biónica. El propósito fue mejorar la adquisición de señales EMG para incrementar la precisión y robustez del módulo de control. Los resultados mostrados indican que el sistema es capaz de capturar las señales EMG e información de forma significativa. Del mismo modo Calderón *et al.* [10], plantean una red neuronal del tipo perceptrón multicapa (MLP) para la identificación de señales EMG en tiempo real. Este sistema sirve como interface entre el usuario y la prótesis robótica. El sistema está basado en el algoritmo de aprendizaje supervisado *backpropagation*. La red neuronal es ejecutada mediante un sistema embebido en la plataforma Arduino. Mientras tanto Luo *et al.* [11], proponen un nuevo enfoque de algoritmo de control constituido por una red neuronal radial (RBFNN) y posteriormente lo comparan con el modelo biomecánico. En este supuesto se utiliza como variable de entrada el valor medio absoluto (MAV) de la señal EMG obtenida. Los resultados experimentales mostrados validan la eficiencia del modelo presentado.

Por otra parte, mejorar la eficiencia del sistema de control con el mínimo número de sensores EMG disponibles también constituye parte activa en la investigación más reciente. Así Junlasat *et al.* [12], proponen un algoritmo para la detección de los movimientos de los dedos basado en la posición de múltiples sensores EMG. Las señales obtenidas por el sistema

MyoWare Muscle Sensor son luego procesadas por la plataforma Arduino. Dada su capacidad de procesamiento, para determinar el movimiento de un dedo los autores consideran la diferencia entre el valor máximo y el valor medio de la señal proporcionada por el correspondiente sensor EMG. A su vez Seguna *et al.* [13] plantean una estrategia de control destinada al reconocimiento de gestos en una prótesis biónica. Asimismo, presentan un sistema analógico de bajo coste compuesto por múltiples sensores EMG. Los resultados obtenidos durante los diferentes experimentos son mostrados a lo largo del documento. Mientras que Oleinikov *et al.* [14] estudian la posibilidad de controlar una prótesis biónica con una red neuronal simple y el mínimo número de electrodos posibles. Para ello plantean distintos movimientos predeterminados (mano abierta, cerrada, agarre, etc.) y analizan la eficiencia del sistema de control en cada caso. A su vez Ruhunage *et al.* [15] plantean el control híbrido de un brazo robótico (6-DOF), como novedad técnica incorporan un conjunto de sensores ECG y EMG. Debido a su complejidad, la arquitectura de red neuronal utilizada está constituida por 5 capas (3 ocultas).

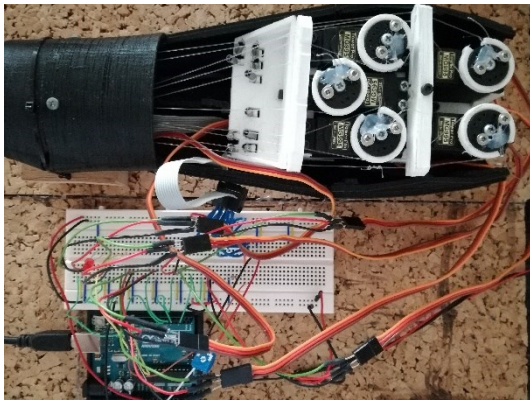


Fig. 3. Detalle de los diferentes servos, cables y muelles destinados al accionamiento de cada uno de los dedos del brazo robótico. El control está realizado mediante el controlador Arduino, quien proporciona una señal PWM para el accionamiento de cada uno de los diferentes servos HiTech.

III. RECONOCIMIENTO DE GESTOS MEDIANTE SENSORES EMG SUPERFICIALES

En estos últimos años el desarrollo de nuevos modelos de prótesis robóticas ha estado en continua evolución. La impresión 3D ha supuesto un gran avance en el diseño e implementación de estas aplicaciones robóticas. Así por ejemplo la biomecánica ha sido una tecnología que se ha modificado por completo, Fig. 3. La tecnología de impresión 3D ha permitido construir modelos más complejos de forma rápida y sencilla. Además, su principal ventaja es que permite reducir sus costes de fabricación [16].

Un diseño de brazo robótico muy avanzado y evolucionado son los modelos mioeléctricos. Estas prótesis son controladas mediante diferentes bioseñales, las cuales interpretan los movimientos musculares. Algunos artículos de investigación [12], [15] presentan el control de prótesis biónicas mediante señales electromiográficas (EMG) o electroencefalográficas (ECG). El brazo articulado aquí descrito presenta una completa articulación de 5 dedos con movimientos de flexión-extensión y oposición del dedo pulgar. Su sistema de control está basado en diferentes sensores superficiales mediante la aplicación de electrodos EMG musculares.

El principal problema del diseñador y programador de estos sistemas robóticos es el escaso número de posiciones para ubicar los electrodos EMG asociados al control muscular. Esta causa incrementa la complejidad durante la implementación del algoritmo de control. Así pues, un hándicap de la investigación es la sincronización de todas las señales EMG con la velocidad y par motor de la mano biónica. El propósito es conseguir un funcionamiento natural con el simple desplazamiento de la mano del usuario. Un ejemplo sencillo de señal EMG que refleja directamente la activación muscular es mostrada en la Fig. 4.

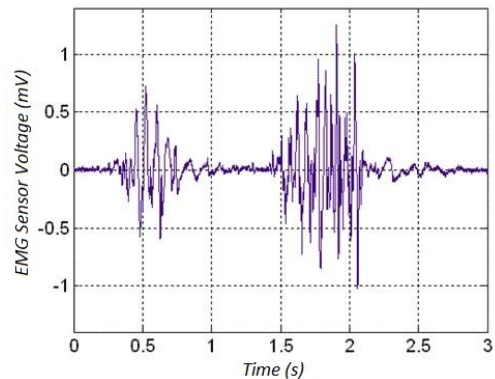


Fig. 4. Ejemplo de bioseñal EMG registrada con electrodos en el músculo bíceps durante dos breves contracciones intermitentes. Estos electrodos utilizan un gel electrolítico para incrementar la conductividad.

La literatura científica recoge la detección del movimiento de cada dedo en función de su activación muscular. De este modo se han estudiado posibles ubicaciones para los electrodos EMG en el antebrazo humano. La solución está dividida principalmente en dos métodos diferenciados: técnicas invasivas y no invasivas. Como consecuencia de la complejidad, altas restricciones en el uso y alto coste asociado a los métodos invasivos se han optado generalmente por técnicas no invasivas. Estas técnicas no invasivas se caracterizan por el uso de sensores EMG/ECG superficiales. Como inconveniente asociado no proporcionan la solución exacta y gradual para detectar el movimiento de cada dedo. En el supuesto analizado la detección del movimiento en cada dedo ha sido efectuada por separado, para posteriormente estudiar movimientos mucho más complejos.

La Fig. 3 muestra el modelo mecánico desarrollado para ejercer el movimiento de los diferentes dedos. Este mecanismo está compuesto por cables y muelles colocados a modo de tensores. A su vez estos cables son activados por diferentes poleas incorporadas sobre los servos *HiTech*. De este modo el desplazamiento angular de cada accionamiento es controlado por la señal PWM proporcionada por el controlador Arduino. Por último, en el extremo de cada dedo se ha incorporado un pequeño pulsador. Su propósito ha sido obtener un buen *feedback* con respecto al agarre de los diferentes objetos o indicar cuando la mano se ha cerrado por completo.

A. Etapa diferencial y dispositivos EMG

Como se ha comentado en anteriores epígrafes las técnicas electromiográficas están centradas en la adquisición y el análisis de los diferentes impulsos bioeléctricos (señales EMG) obtenidos como consecuencia del desarrollo de una actividad muscular. Ahora bien, para poder utilizar estos pequeños pulsos eléctricos es recomendable efectuar un

adecuado proceso de acondicionamiento de la señal. El propósito es inmunizar frente al ruido. De este modo resulta necesario que el subsistema desarrollado posea los siguientes bloques: pre-amplificación, filtrado para eliminar el ruido y rectificación de señal.

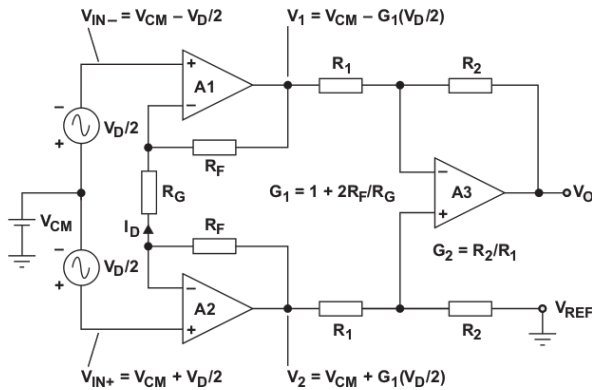


Fig. 5. Estructura y ganancia del amplificador EMG. La señal obtenida por parte de los sensores EMG posee una magnitud del orden de los mV.

Por otra parte, el rango de voltaje obtenido en estas señales EMG es relativamente bajo (del orden de $\mu\text{V}/\text{mV}$). De este modo el contenido de ruido se suma durante el proceso de adquisición. En estos sistemas se incorporan filtros analógicos o digitales con una frecuencia de corte entre 20/150Hz. Por lo general el sensor EMG proporciona una medida diferencial dentro del rango de $\pm 1,65\text{mV}$. Todo esto supone que la ganancia ($G_{AV} = G_2 \times G_1$) del bloque amplificador sea superior a 1000. Otras especificaciones destacadas en el amplificador son bajo ruido $12\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, alta impedancia de entrada $1\text{T}\Omega$ y alto rechazo en modo común CMRR (*Common-Mode Rejection Ratio*).

La señal EMG no puede ser utilizada directamente para el movimiento/activación de cada dedo. Esto es debido a que la naturaleza de esta señal es relativamente compleja y en muchas ocasiones el movimiento está ocasionado por una sinergia de varios músculos. Así la señal EMG mostrada en la Fig. 4 se obtuvo colocando distintos electrodos en los bíceps del brazo derecho y realizando una sencilla secuencia de contracción-relajación-contracción. El principal inconveniente de estos sistemas es el ruido ambiental. El ruido suele acompañar a la señal obtenida e incluso en ocasiones puede superarla en varios órdenes de magnitud. Como posible solución, un amplificador diferencial puede neutralizar buena parte del ruido existente ya que mide la diferencia de tensión entre los electrodos EMG activos con respecto al terminal considerado como referencia (1).

$$v_O = v_1 - v_2 = G_2 \left[v_{CM} + G_1 \frac{v_D}{2} - v_{CM} + G_1 \frac{v_D}{2} \right] = G_2 G_1 v_D \quad (1)$$

Los voltajes adquiridos por los electrodos ($v_D/2$) deben ser posteriormente amplificados y filtrados. En este caso el amplificador de instrumentación elegido ha sido el INA128 (Texas Instruments). En esta topología se ha añadido un filtro paso bajo en el lazo de realimentación con objeto de eliminar la componente continua de salida (Fig. 5).

A su vez, el fabricante recomienda este amplificador para su uso en diferentes aplicaciones biomédicas. El *datasheet* presenta varios circuitos opcionales que nos permiten ajustar la tensión de offset. Así pues, en el caso mostrado en la Fig. 5 la resistencia R_G nos permite cambiar fácilmente la ganancia

de la etapa amplificadora diferencial. Mientras que su salida v_O está referenciada sobre el terminal de referencia, normalmente masa (v_{REF}). El voltaje de referencia v_{REF} aplicado sobre este terminal es sumado a la salida v_O . Por último, la señal obtenida una vez filtrada y amplificada, es rectificada mediante un rectificador de precisión con objeto de cuantificar y analizar la intensidad de la señal EMG adquirida.

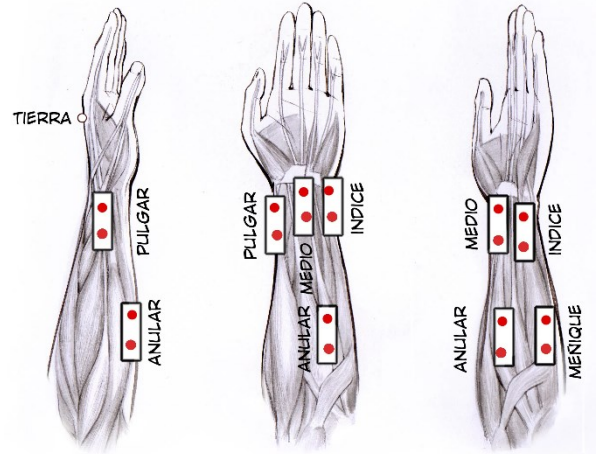


Fig. 6. Alternativas para la colocación de los diferentes sensores EMG superficiales en el antebrazo humano [5].

B. Ubicación de los sensores EMG Superficiales

Los electrodos EMG son elementos no invasivos, ideales para aplicaciones como rehabilitación, entrenamiento o control de prótesis biónicas activas. Para la obtención de los voltajes bioeléctricos los dispositivos EMG pueden ser colocados en diferentes posiciones del brazo, seleccionando los diferentes grupos musculares. La finalidad siempre ha sido aumentar su precisión. La Fig. 6 muestra las diferentes posiciones utilizadas en el antebrazo izquierdo del usuario. En el caso analizado resulta necesaria la combinación de 5 canales para la detección del movimiento de cada uno de los dedos. De esta forma es posible descodificar las distintas señales implicadas en cada desplazamiento individual.

Sin embargo, un solo sensor EMG no puede proporcionar la detección del movimiento de los dedos, resulta necesaria la combinación de varios sensores. En este documento se presenta la detección del movimiento de los dedos en función de la posición óptima de los sensores EMG, Fig. 6. El tipo de movimiento seleccionado fue la flexión-extensión individual de cada dedo, es decir, pulgar (T), índice (I), medio (M), anular (R), y menique (L). Con el propósito de captar las señales asociadas a cada movimiento se efectuó el proceso de flexión de cada dedo (5 veces consecutivas) durante un periodo de 5 segundos. Con objeto de disponer de una amplia muestra de datos fueron desarrolladas varias secuencias de movimientos.

Para la adquisición de la tensión EMG en modo diferencial es necesario al menos 3 electrodos (Fig. 5). Uno de ellos es utilizado como potencial de referencia v_{CM} . Por lo general, está ubicado en una zona sin musculo, como por ejemplo en el dorso de la mano o el codo. Mientras, los otros dos electrodos ($v_D/2$) están ubicados sobre las distintas posiciones musculares donde se desea medir los potenciales bioeléctricos, Fig. 6. Estos sensores pueden estar conectados en el mismo musculo o diferentes, la única condición para que la captura de los datos sea adecuada es que la distancia entre los electrodos EMG debe ser superior a $> 2\text{cm}$.

IV. RED NEURONAL (NN) Y ALGORITMO DE APRENDIZAJE

Las distintas señales procedentes de los sensores EMG son almacenadas como un vector y posteriormente convertidas en una matriz de entradas para el entrenamiento y comprobación del sistema. En todo este proceso es importante el número de muestras y el tiempo de muestreo, ya que de estos parámetros depende la velocidad de aprendizaje de la red neuronal (NN). Estos datos son almacenados en dos grupos. Un primer grupo destinado al entrenamiento de la red neuronal y un segundo grupo que contiene los datos utilizados para validar la red neuronal, así como su entrenamiento. De este modo, una red neuronal es un modelo matemático que nos permite procesar fácilmente la información. Su principal ventaja es la habilidad para representar ambas relaciones lineales y no-lineales, al mismo tiempo que aprende estas relaciones directamente de los datos proporcionados. Así pues, la NN es utilizada para estudiar la relación entre las diferentes señales EMG y los movimientos de los dedos.

Las señales de los sensores EMG, correspondientes a cada dedo, son convertidas a señales digitales (ADC) y transferidas posteriormente vía serie al *workspace* de *Matlab*. El propósito ha sido procesar la información. De este modo se requiere un bajo tiempo de computación. Generalmente una red neuronal utiliza un grupo de capas que son entrenadas para solucionar un problema de optimización no lineal de forma efectiva. Una estructura NN típica consiste de tres capas comunes (i) *input layer*, (ii) *hidden layer* y (iii) *output layer* (Fig. 7). Las redes neuronales requieren de un continuo entrenamiento para desarrollar la eficiencia requerida. De esta forma, tres parámetros tienen influencia en el rendimiento de la red neuronal: (i) la topología de interconexión, (ii) pesos en los nodos de interconexión y (iii) función de activación usada. Una neurona *ith* se define matemáticamente como (2),

$$y_i = \sum_{j=1}^m w_j h_j \quad (2)$$

$$h_j(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

donde y_i ($i = 1-5$) es la salida de la neurona i siendo el resultado de la aplicación de la función de activación $h_j(x)$ sobre la capa oculta; mientras que m el número de neuronas en la capa oculta. A su vez w_j es el peso (parámetro escalar ajustable) del nodo j en la capa oculta ($j = 1-6$). Los pesos w_j de la capa oculta tienen un papel importante para conseguir un mejor rendimiento de la red neuronal. Estos coeficientes w_j son ajustados por las reglas de aprendizaje para garantizar los criterios de error.

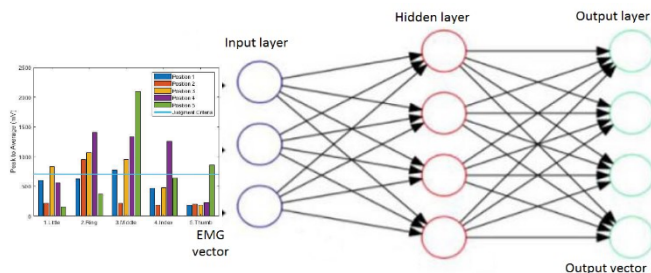


Fig. 7. Ejemplo de arquitectura básica de una Red Neuronal (NN) y señales de entrada (EMG vector).

En la capa de entrada, un vector $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ es usado para entrenar la NN, en este caso consiste de las señales

procedentes de los sensores EMG. La suma de los pesos de las entradas está limitada por la función de activación, y está definida como *threshold function*. Así, durante el proceso de entrenamiento, los pesos w_j son entrenados correctamente para transformar el vector de datos de entrada en el vector de datos de salida deseado $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. En este caso el vector Y está formado por el accionamiento correspondiente a cada dedo.

Con respecto a la función de activación se ha utilizado la función sigmoide (3) debido principalmente a su bajo coste computacional al implementarla en un controlador Arduino. El aprendizaje de la red neuronal se efectúa por las conexiones entre las neuronas (coeficiente peso w_j). Es decir, estos pesos representan el conocimiento de la NN. Indicar también que la NN ha sido entrenada utilizando un aprendizaje supervisado; pues en esta ocasión se conoce el vector resultante $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_5\}$ asociado a cada vector de entrada $X = \{x_1, x_2, \dots, x_5\}$. De esta forma el algoritmo de aprendizaje es el encargado de reducir el error de las salidas.

Con frecuencia en un sistema de control no lineal se utiliza una red neuronal RBFNN. Esta topología ha sido implementada mediante la *Neural Network toolbox* dentro del entorno *Matlab/Simulink*. La red neuronal utilizada posee 3 capas, con una capa oculta. Asimismo, está constituida por: 5 neuronas en su capa de entrada (que se corresponden con los diferentes vectores EMG), 6 neuronas en su capa oculta y 5 neuronas en su capa de salida correspondientes con cada uno de los actuadores (dedos), ver estructura básica en la Fig. 7. De este modo la arquitectura es del tipo *feedforward*. El sistema está basado en el algoritmo de aprendizaje supervisado *back-propagation* implementado por *Matlab*.

Antes del proceso de entrenamiento, todos los pesos w_j se inicializan aleatoriamente entre un valor de -1 y +1 para las distintas capas de red. Aumentar la cantidad de neuronas dentro de la capa oculta mejora el rendimiento de la red neuronal, al mismo tiempo que incrementa la cantidad de operaciones y recursos necesarios para obtener resultados. Todo ello ocasiona un aumento en el tiempo de computación. Al mismo tiempo se ha utilizado el parámetro MSE (*Mean Squared Error*) como función de análisis del error (4),

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{si} - y_i)^2 \quad (4)$$

donde n es el número de muestras; mientras que y_{si} y y_i son el valor objetivo deseado y el valor obtenido en el nodo de salida *ith*, respectivamente. Así pues, para evaluar el rendimiento del modelo se ha utilizado el factor MSE. A menor valor de MSE menor será el error. Se adoptó un factor $MSE = 1 \times 10^{-7}$ como criterio de parada predeterminado, así para valores menores se interrumpe el proceso de entrenamiento. De este modo la señal de salida es comparada con la señal deseada y se calcula un error para cada una de las salidas. Los errores obtenidos se propagan hacia atrás (método *back-propagation*), desde la capa de salida hacia las neuronas de las capas anteriores con el propósito de ajustar los pesos y por tanto reducir el error. Cuando el error es el deseado finaliza el entrenamiento de la red neuronal y se almacenan los diferentes coeficientes w_j correspondientes a los pesos.

Las características de este estudio se han extraído del dominio del tiempo porque es más simple y sólo está basado en la amplitud. No obstante, existen diferentes funciones de error. Así varias métricas han sido analizadas con objeto de

simplificar los resultados de la red. De este modo se han observado: el valor medio absoluto MAV (*Mean Absolute Value*), la desviación standard STD (*Standard Deviation*), el error RMS (*Root Mean Square*), la varianza VAR, la longitud de onda WL (*Waveform Length*) o el parámetro DMAV que representa la diferencia de la señal de entrada con respecto al valor medio, (5) – (10) respectivamente.

$$MAV = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_{ik}| \quad (5)$$

$$STD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - MAV)^2} \quad (6)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik}^2} \quad (7)$$

$$VAR = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - MAV)^2 \quad (8)$$

$$WL = \sum_{k=1}^{n-1} |x_{ik-1} - x_{ik}| \quad (9)$$

$$DMAV = x_{ik} - MAV \quad (10)$$

Donde n representa el número de muestras, siendo k la k -ésima muestra extraída; mientras que x_i ($i = 1-5$) se corresponde con el coeficiente asociado al vector de entrada i (sensor EMG). El sistema de control extrae muestras cada 100ms. Además, se ha podido contrastar que las características del dominio del tiempo poseen divergencia suficiente para determinar los distintos movimientos. La principal ventaja de estos parámetros es que requieren un tiempo de cálculo relativamente bajo. El MAV es una de las técnicas computacionales en el dominio del tiempo más populares que se pueden utilizar para la obtención de características del sistema. La operación del MAV está basada en un proceso de segmentación de la señal EMG. Luego estima un valor en cada segmento. Este parámetro es simplemente el promedio del valor absoluto de los datos en la señal EMG. Así este coeficiente puede ser utilizado con relativa facilidad para el accionamiento del modelo, sin consumir una gran cantidad de recursos. En este estudio se ha usado el MAV (5) como método de análisis de señales EMG. El prototipo de brazo articulado controlado por la plataforma Arduino es mostrado en la Fig. 8.

Obviamente el parámetro desviación standard STD puede ser usada para encontrar el nivel de activación de la actividad muscular; ya que proporciona la cantidad de variación desde el valor medio para cada elemento. Del mismo modo un alto valor de la varianza VAR puede indicar algún pequeño trastorno muscular. Por otra parte, como el valor medio de la señal EMG suele tender a cero, el parámetro RMS puede resultar una buena medida para caracterizar estas señales ya que permite cuantificar la señal eléctrica durante la contracción muscular. Mientras que el parámetro WL proporciona la longitud de la onda con respecto al periodo de tiempo analizado, es decir presenta un coeficiente asociado con la amplitud de la oscilación o variación de la señal EMG. Mientras que el coeficiente DMAV indica el movimiento de los dedos, ya que considera el cambio entre el valor máximo y el valor medio.

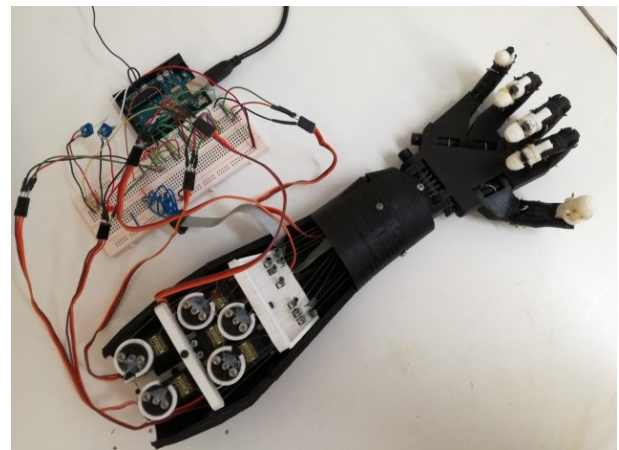


Fig. 8. Prototipo de brazo robótico desarrollado mediante impresión 3D. La imagen muestra los diferentes servomotores que actúan sobre cada uno de los dedos. El sistema de control está basado en el controlador Arduino.

De acuerdo con la literatura, estas especificaciones son las más comúnmente utilizadas para la extracción de resultados [9], [12]. Su principal ventaja reside en el bajo coste de computación del controlador embebido. Ahora bien, si no se requiere de una precisión excesiva en el reconocimiento de los gestos de la mano biónica, estos parámetros pueden ser suficientes para que el sistema de control sea capaz de discriminar los diferentes movimientos de los dedos, siendo capaz de interpretar gestos más complejos que impliquen el movimiento simultáneo de varios dedos.

La aplicación de la NN sobre el modelo de mano biónica ha permitido alcanzar una exactitud de movimientos superior al 90%. Es posible incrementar este parámetro incrementando el número de neuronas (complejidad de la NN), al mismo tiempo que se selecciona un factor MSE menor durante el periodo de entrenamiento. También hay que indicar que la selección de parámetros afecta al rendimiento del modelo, de forma que tiene un papel crucial durante el proceso de reconocimiento y replicación de los gestos en tiempo real.

TABLE I. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LAS SEÑALES EMG EN EL PROCESADO DIRECTO.

Dedo Movimiento	Meñique (L)	Anular (R)	Medio (M)	Índice (I)	Pulgar (T)
Sensor Pos. L	Si	Si	No	No	No
Sensor Pos. R	No	Si	Si	No	No
Sensor Pos. M	Si	Si	Si	No	No
Sensor Pos. I	No	Si	Si	Si	No
Sensor Pos. T	No	No	No	No	Si

Otra forma de resolver el problema del reconocimiento de gestos es el procesamiento directo de las múltiples señales proporcionadas por los sensores EMG. Así la Fig. 9 muestra la comparación entre las señales proporcionadas por cada sensor EMG en el movimiento de cada dedo. La detección se ha producido cuando la amplitud de la señal es superior al criterio prefijado. Del mismo modo la Tabla I indica el análisis de respuesta con las opciones para detectar el movimiento. El inconveniente de este método es la sensibilidad de estos sensores frente al ruido. En ocasiones, esta perturbación origina confusión en los movimientos. Así pues, aunque es una solución factible, este método es mucho menos preciso que el basado en NN. Aunque como ventaja resulta un método

sencillo de implementar utilizando una unidad de bajo coste y bajo procesamiento.

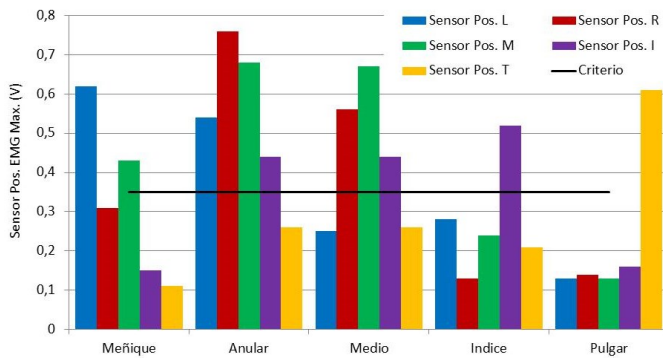


Fig. 9. Comparación de las señales EMG en el movimiento de cada uno de los dedos.

V. CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado la implementación de un algoritmo de control basado en redes neuronales para el reconocimiento de gestos de una prótesis biónica. Se han utilizado múltiples sensores EMG como señales de entrada procedentes del modelo humano, con objeto de facilitar la detección de las diferentes bioseñales musculares. Estos elementos han permitido optimizar la capacidad de control y facilitar su manejabilidad. Su implementación ha resultado más compleja de lo esperado; el ruido ha sido uno de los mayores inconvenientes en esta aplicación. Así el propósito inicial ha sido desarrollar una técnica de control mediante redes neuronales de fácil implementación por los estudiantes y destinada a la simulación de los movimientos de una prótesis biónica con múltiples grados de libertad (5-DOF).

La realización de trabajos académicos TFG/TFM en el contexto de ciencias, tecnologías o ingenierías, permiten la evaluación de las competencias adquiridas por los estudiantes durante su proceso de formación universitaria. De este modo la construcción de pequeños proyectos permite incrementar el grado de motivación e implicación del estudiante. En este caso existen en la web gran cantidad de proyectos *Open Source* que permiten desarrollar prototipos de brazos articulados mediante técnicas de impresión 3D. Otro punto clave en el desarrollo del proyecto ha sido la obtención de múltiples datos EMG, asociados a los movimientos del usuario, con el propósito de entrenar la red neuronal. Disponer de una buena base de datos ayuda en el entrenamiento de la red neuronal. Sin embargo, para que el sistema desarrollado responda de forma adecuada al reconocimiento de gestos resulta necesario un pequeño conjunto de datos relacionados con el usuario final. También se han mostrado distintos criterios de evaluación para detectar el movimiento de los dedos mediante el análisis de múltiples señales EMG.

Por último, desarrollar diferentes algoritmos de control puede resultar una tarea gratificante que añade un factor extra de motivación en los estudiantes. En el caso presentado los estudiantes no tenían conocimientos previos sobre el uso de redes neuronales. Inicialmente supuso un pequeño hándicap para los alumnos pues, aunque tenían conocimientos de técnicas de control desconocían métodos avanzados. De este modo el desarrollo del TFM ha permitido complementar su

itinerario formativo. Finalmente, los objetivos iniciales se han resuelto de manera satisfactoria, obteniendo como resultado un modelo robótico que ha superado las expectativas iniciales y con un coste reducido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad de Zaragoza para el desarrollo del presente trabajo, a través del Programa de Innovación e Investigación Educativa (PIIDUZ 2019/20). Reference: PIIDUZ_19_268.

REFERENCES

- [1] Wan-Ting Shi, Zong-Jhe Lyu, Shih-Tsang Tang, Tsorng-Lin Chia and Chia-Yen Yang, (2018). "A bionic hand controlled by hand gesture recognition based on surface EMG signals: A preliminary study". *Biocybernetics and Biomedical Engineering, Elsevier ScienceDirect*. Vol. 38; pp.: 126 to 135.
- [2] J. Koprnicky, P. Najman and J. Safka, (May 2017). "3D printed bionic prosthetic hands". *International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM 2017)*. *IEEEExplore Digital Library*. Donostia-San Sebastian, Spain. 24-26 May'17; pp.: 1 to 6.
- [3] A. Beneteau, G. Di Caterina, L. Petropoulakis and J.J. Soraghan. (2014) "Low-cost wireless surface EMG sensor using the MSP430 microcontroller". *6th European Embedded Design in Education and Research Conference, EDERC'14*. *IEEEExplore Digital Library*. 11-12 September 2014. Milano, Italy; pp.: 264 to 268.
- [4] S. Benatti, F. Casamassima, B. Milosevic, E. Farella, P. Schönle, S. Fateh, T. Burger, Q. Huang and L. Benini. (2015). "A Versatile Embedded Platform for EMG Acquisition and Gesture Recognition". *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. *IEEEExplore Digital Library*. October 2015. Volume 9, issue: 5; pp.: 620 to 630.
- [5] J. S. Artal-Sevil and J. L. Montañés, "Development of a robotic arm and implementation of a control strategy for gesture recognition through Leap Motion device," *2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAE)*. *IEEEExplore Digital Library*. Seville, 2016, pp. 1-9, doi: 10.1109/TAE.2016.7528373.
- [6] J.S. Artal-Sevil, J.L. Montañés, A. Acón and J.A. Domínguez, "Control of a Bionic Hand using real-time gesture recognition techniques through Leap Motion Controller," *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)*. *IEEEExplore Digital Library*. La Laguna, 2018, pp. 1-7, doi: 10.1109/TAE.2018.8476122.
- [7] H. Martin, J. Donaw, R. Kelly, Y.J. Jung and Jong-Hoon Kim. (2014). "A novel approach of prosthetic arm control using computer vision, biosignals, and motion capture". *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Robotic Rehabilitation and Assistive Technologies, CIR2AT'14*. *IEEEExplore Digital Library*. 9-12 December 2014. Orlando, USA. pp.: 26 to 30.
- [8] N.E. Krausz, R.A.L. Rorrer and R.F. Weir. (2016). "Design and Fabrication of a Six Degree-of-Freedom Open Source Hand". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. *IEEEExplore Digital Library*. Volume: 24, issue: 5, pp.: 562 to 572.
- [9] J. Ahmad, A.M. Butt, M. Hussain, M.A. Akbar and W.U. Rehman, (2018). "The Deep Neural Network based Classification of Fingers Pattern using Electromyography". *2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC 2018)*. *IEEEExplore Digital Library*. 24-26 May'17; pp.: 455 to 461.
- [10] C.A. Calderon, L. Jaramillo, J. Zuñiga, W. Hernandez, and F. Rivas-Echeverría, (2018). "A Neural Network embedded system for real-time identification of EMG signals". *IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA 2018)*. *IEEEExplore Digital Library*. Greater Concepcion, Chile. 17-19 October'18, pp.: 1 to 7.
- [11] J. Luo, C. Liu & C. Yang. (2019). "Estimation of EMG-Based Force Using a Neural-Network-Based Approach". *IEEE Access*. *IEEEExplore Digital Library*. May 2019. Volume: 7; pp.: 64856 to 64865.
- [12] A. Junlasat, T. Kamolklang, P. Uthansakul and M. Uthansakul. (2019). "Finger Movement Detection Based on Multiple EMG Positions". *11th International Conference on Information, Technology and Electrical Engineering (ICITEE'19)*. *IEEEExplore Digital Library*. 11-12 October 2019. Pattaya, Thailand; pp.: 1 to 4.

- [13] C. Seguna, A. von Brockdorff, J. Scerri and K. Scicluna. (2018) "Development of a New Low-Cost EMG Monitoring System for the Classification of Finger Movement". *New Generation of CAS (NGCAS 2018)*. *IEEEExplore Digital Library*. November 2018. Valleta, Malta; pp.: 126 to 129.
- [14] A. Oleinikov, B. Abibullaev, A. Shintemirov, M. Folgheraiter and A. Kazakhstan. (2018). "Feature Extraction and Real-Time Recognition of Hand Motion Intentions from EMGs via Artificial Neural Networks". *6th International Conference on Brain-Computer Interface (BCI 2018)* *IEEEExplore Digital Library*. January 2018; GangWon, South Korea; pp.: 1 to 5.
- [15] I. Ruhunage, S. Mallikarachchi, D. Chinthaka, J. Sandaruwan and T.D. Lalitharatne. (2019). "Hybrid EEG-EMG Signals Based Approach for Control of Hand Motions of a Transhumeral Prosthesis". *Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2019)*. *IEEEExplore Digital Library*. March 2019. Osaka, Japan; pp.: 50 to 53.
- [16] J.S. Artal-Sevil, A. Acón, J.L. Montañés and J.A. Domínguez, "Design of a Low-Cost Robotic Arm controlled by Surface EMG Sensors," *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)*. *IEEEExplore Digital Library*. La Laguna, 2018, pp. 1-8.



Session TS-4B

Digital Systems II

Towards a Man - Machine Interaction in Programming Robotic Subject

1st Moises Diaz
ESCOEX Faculty
Universidad del Atlantico Medio
Las Palmas, Spain
moises.diaz@atlanticomedio.es

2nd Jose J. Quintana, 3rd Raul Santiago
Department of Electronic and Automatic Engineering
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Las Palmas, Spain
josejuan.quintana@ulpgc.es, raul.santiago102@alu.ulpgc.es

4th Miguel A. Ferrer
Institute for Technological Development and Innovation in Communication
IDeTIC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Las Palmas, Spain
miguelangel.ferrer@ulpgc.es

5th Ana Gonzalez
Department of Educational Research
Universidad del Atlantico Medio
Las Palmas, Spain
ana.gonzalez@atlanticomedio.es

Abstract—This article begins by generally addressing the fundamentals of educational robotics, to later conclude that human-robot interaction practices constitute an activity that meets the purposes of this new discipline, and that significantly improves motivation and involvement of students in academic work. Specifically, teachers are provided with a proposal for laboratory practice that develops robot control by hand movement. This lab activity, aimed at developing students' programming skills, includes the installation of Leap Motion, which recognizes the hand gestures, and the steps to follow to achieve its communication with the ABB industrial robot, model IRB 120, which will execute the commands within specific coordinates that the student will program through the connection between Leap Motion-Matlab RobotStudio-Robot ABB IRB 120.

Index Terms—Human-Robot Interaction, Leap Motion, ABB Robot, Robot Programming, Hand Gestures

Equipo de prácticas para asignaturas de Automatización Industrial y Regulación Automática en Grados de Ingeniería.

Sebastián García, Antonio Parejo, Álvaro Ariel Gómez, Francisco Javier Molina, Diego F. Larios y Carlos León

Abstract— Los estudios de ingeniería están basados tradicionalmente en conceptos matemáticos, científicos y técnicos. El desarrollo de estos conceptos de una forma práctica ayuda a los estudiantes a comprenderlos y asimilarlos mejor. El trabajo presentado en este artículo incluye el desarrollo de un entrenador económico para su uso en las sesiones prácticas de las asignaturas Automatización Industrial y Regulación Automática que se imparten en la universidad de los autores. El equipo de prácticas está basado en un eje motorizado que puede ser controlado usando PLCs o PCs. Es un equipo flexible que puede ser utilizado para modelado de sistemas e implementación de estrategias de control, permitiendo la emulación de distintos sistemas físicos.

Index Terms—Regulación Automática, Automatización Industrial, Entrenador, Ingeniería Industrial.

I. INTRODUCCION

En el ámbito de la *Escuela Politécnica Superior* de la Universidad de Sevilla, las asignaturas de Automatización Industrial y Regulación Automática son comunes a todas las titulaciones de Ingeniería Industrial. Estas asignaturas comparten un trasfondo común que, normalmente, no es percibido por los alumnos. Sin embargo, los Controladores Lógicos Programables o PLCs, los cuales son la base de la actual automatización industrial, son ampliamente usados para implementar bucles de control en la industria. En este sentido, y en el ámbito de estas asignaturas, existe una carencia de equipos de prácticas basados bucles de control con PLCs. Los equipos disponibles en el mercado son voluminosos, por lo que es muy difícil tener un equipo para cada alumno en una sesión de prácticas.

II. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PRÁCTICAS

Teniendo en cuenta el escenario anterior, se ha desarrollado un equipo de prácticas para implementar bucles de control usando PLCs. Además, el equipo también puede ser usado con PCs. Este equipo ha sido concebido para implementar control en posición, pero también puede ser usado para implementar control en velocidad. El equipo está compuesto, fundamentalmente, por tres partes: un motor, un sensor lineal y una placa de control. El motor es el actuador del bucle de control y el sensor lineal como la realimentación. El motor está basado en un motor paso a paso y el sensor lineal en una resistencia variable.

La placa de control tiene un microcontrolador, un puerto USB y la electrónica para controlar el motor y adquirir y procesar las distintas señales del equipo. El microcontrolador es responsable de implementar la dinámica del sistema. El sistema emula un motor DC. Esto permite que un mismo equipo pueda tener distintas dinámicas de movimiento de forma parametrizable a través de la interfaz USB. Gracias a esto, se pueden evitar copias en exámenes.

Las señales de entrada y salida están disponibles tanto en una bornera física como a través de la interfaz USB. Esto permite que el sistema pueda ser controlado a través de un PC o usando PLCs.

III. RESULTADOS

Se ha fabricado y validado un prototipo. Se están diseñando distintas sesiones prácticas para las citadas asignaturas que serán puestas en marcha en el siguiente curso académico. Estas prácticas cubren desde el modelado de sistemas hasta la implementación de distintas estrategias de control.

Hasta ahora, la mayoría de estos conceptos eran únicamente cubiertos de forma teórica o, debido al coste, con un número reducido de equipos. Con el equipo propuesto y su reducido coste, es posible tener un equipo por cada puesto y alumno en laboratorio. Esto es posible gracias a que el dispositivo está basado en componentes estándar.

Laboratory for Industry 4.0

Samuel Dominguez-Cid
DTE
University of Seville
Seville, Spain
sdcid@us.es

Javier A. Guerra
DTE
University of Seville
Seville, Spain
jgcoronado@us.es

Francisco Javier Molina
DTE
University of Seville
Seville, Spain
fjmolina@us.es

Álvaro Ariel Gómez
DTE
University of Seville
Seville, Spain
ariel@us.es

Miguel Ángel Leal
DTE
University of Seville
Seville, Spain
maleal@us.es

Alejandro Gallardo
DTE
University of Seville
Seville, Spain
alegallardo@us.es

Abstract— Currently, “Industry 4.0” is a very relevant paradigm for the future of companies, which involves varied and different technology. In general, it is barely present in high education curricula. To face this problem, we have designed a laboratory to learn and test the main “Industry 4.0” underlying technologies such as Industrial networks and OPC among others. Encouraging the students to start learning the basic principles of the interoperability and the horizontal and vertical integration in the industrial environment. Different activities and exercises are imparted to them in order to improve the nowadays technology in the industrial sector, as well as the importance of the evolution to the 4.0 paradigm.

Keywords— *Industry 4.0, OPC, Industrial Fieldbus*

How to Implement a Fingerprint Recognition Algorithm into a Wearable Device

Rosario Arjona, Javier Arcenegui, and Iluminada Baturone
Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE-CNM)
Universidad de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Seville, Spain
{arjona, arcenegui, lumi}@imse-cnm.csic.es

Abstract—This work describes how to implement a fingerprint recognition algorithm into an ARM Cortex-M3 microcontroller included in a Texas Instruments LaunchPad CC2650 evaluation kit. The application context is the realization of a wearable device for biometrics security. On the one hand, the students become familiar with wearable devices whose basic component is a low power microcontroller. On the other hand, the students learn about a security application based on fingerprint recognition, which employs typical operations of image processing.

Keywords—*fingerprint recognition; image processing; ARM microcontrollers; wearable devices*

.

Design of a teaching computer with floating point unit for Computer Architecture

Andrés Gersnoviez, María Brox, Carlos Castillo-Márquez, Miguel A. Montijano-Vizcaíno, Manuel A. Ortíz-López, Francisco J. Quiles-Latorre

Dept. Electronic and Computer Engineering

Escuela Politécnica Superior de Córdoba, Universidad de Córdoba

Córdoba, Spain

[andresgm, mbrox, i62camac, el1movim, el1orlom, el1qulaf]@uco.es

Abstract— The computer used in Computer Architecture practices of Computer Engineering at the University of Cordoba does not allow the development of floating-point instructions. As several arithmetic algorithms developed in floating-point are taught in the subject, the design of a new computer that includes an arithmetic-logical unit (ALU) capable of implementing them is presented in this paper. The work describes the structure of the new computer, the floating-point number format chosen and the correct implementation of different floating-point algorithms. The new computer allows that students understand in a more optimal way the theoretical concepts taught about floating-point arithmetic.

Keywords— Computer Architecture practices, floating point arithmetic, OrCAD software



Session TS-5A

Trends in Education IV

MONITORAMENTO DE SENSORES DE UMIDADE DO SOLO COM INTERNET DAS COISAS (IOT) APLICADO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Alessandra Dutra Coelho
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
alessandra.coelho@maua.br

Bruno Guilherme Dias
Engenharia Elétrica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
bruno.guilhermeld@gmail.com

Wânderson de Oliveira Assis
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
wanderson.assis@maua.br

Fernando de Almeida Martins
Departamento de Eletrônica e Telecomunicações
Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
fernando.martins@maua.br

Rogério Cassares Pires
Departamento de Eletrônica e Telecomunicações
Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
rogerio.cassares@maua.br

Resumo— *Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema para aquisição de dados em uma aplicação agrícola. Para isso, o sistema inclui o monitoramento da umidade do solo e dos sensores atmosféricos (temperatura e umidade relativa), a fim de fornecer subsídios aos agricultores na tomada de decisões, visando uma futura implementação de um sistema de irrigação automatizado, com redução do desperdício dos recursos hídricos. A aquisição de dados é realizada por meio de sensores conectados a um sistema microcontrolado, e os sinais são transmitidos através de um módulo de radiofrequência usando o protocolo LoRaWan™. Os dados são recebidos em um gateway e disponibilizados na nuvem, aplicando os conceitos da Internet das Coisas (IoT), podendo ser monitorados em tempo real em uma interface acadêmica. Além disso, os dados também podem ser monitorados através de uma interface simplificada, acessível através de um aplicativo desenvolvido especificamente para a aplicação.*

Palavras-Chave— Agricultura de precisão, Internet das Coisas (IoT), sistemas eletrônicos, sensoriamento remoto.

I. INTRODUÇÃO

A “Internet das Coisas” (IoT) é uma família de tecnologias altamente promissora, capaz de oferecer muitas soluções para a modernização da agricultura [1]. O projeto se divide em dois estágios: o primeiro referente à coleta e transmissão dos dados dos sensores distribuídos na plantação, para a qual foi utilizado o LoRa que é um chip criado pela LoRa Alliance que utiliza a tecnologia de radiofrequência sem fio, semelhante ao Wifi e ao Bluetooth. O segundo estágio refere-se à utilização de um Arduino UNO para fazer a leitura dos dados dos sensores visando uma calibração mais simples.

II. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Os dados coletados pelos sensores e enviados pela placa LoRa são recebidos pelo *gateway*, um tipo de antena que recebe e coleta dados e está localizado nas dependências da Mauá [2], posteriormente os dados são salvos em um servidor. As informações são enviadas ao *Network Server*, o qual contém um MQTT *broker* responsável por gerenciar as publicações e as subscrições do protocolo, podendo ser visualizadas no *dashboard* do site do Smart Campus Mauá (<https://smartcampus.maua.br/dash/>).

O objetivo deste trabalho é distribuir os dados tanto para a página na *web* do ThingSpeak quanto para o servidor público, além de criar uma janela de apresentação no site do Smart Campus Mauá.

III. RESULTADOS OBTIDOS

As premissas definidas para o trabalho foram alcançadas com sucesso. As interfaces desenvolvidas são intuitivas e apresentam os valores instantâneos medidos, incluindo os valores calibrados a partir do sensor de umidade do solo. Como ferramenta didática, os resultados do projeto foram amplamente explorados, atraindo a participação de vários alunos da Engenharia Eletrônica e de outras engenharias.

IV. REFERENCIAS

- [1] R. Rajeswari; K. Suthendran and K. Rajakumar, “A Smart Agricultural Model by Integrating IoT, Mobile and Cloud-based Big Data Analytics”. International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2). v. 118, nº 82018, pp. 365-370, 2017.
- [2] IMT. Documentação de Aplicação. **Smart Campus Maua**, 2019. Disponível em: <https://smartcampus.maua.br/?page_id=55>. Acesso em: 20 de ago. de 2019.

Internet das Coisas Aplicada à Hidráulica

Alessandra Dutra Coelho
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
alessandra.coelho@maua.br

Wânderson de Oliveira Assis
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
wanderson.assis@maua.br

Resumo — Este trabalho apresenta uma inovação de base tecnológica no ensino e aprendizagem de eletrônica. O projeto é uma competição acadêmica proposta pela empresa HydraForce com o objetivo de desenvolver um aplicativo de Internet das Coisas. Na atividade, um grupo de estudantes deve desenvolver um sistema com vários sensores para monitorar as máquinas hidráulicas empregadas na agricultura, a fim de melhorar seu desempenho e, conseqüentemente, gerar economia de recursos ou outros benefícios para o agricultor ou o fabricante da máquina. O projeto é realizado ao longo de um semestre e conta com a tutoria de dois professores e profissionais da empresa proponente, com um prêmio para o melhor trabalho desenvolvido.

Palavras-chave — Internet das coisas, sensores, máquinas hidráulicas, microcontroladores.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve a competição realizada no formato de um hackaton estendido que acontece no PAE (Projeto de Atividade Especial) denominado “Internet das Coisas Aplicada à Hidráulica – Hackathon da Hydraforce” do Instituto Mauá de Tecnologia. A empresa Hydraforce desenvolvedora de válvulas hidráulicas para diversos fabricantes de máquinas agrícolas, através de parceria firmada com a faculdade trouxe na forma de desafio para os estudantes um problema real do seu dia a dia possibilitando grande aprendizado a nossos alunos tanto técnico quanto comportamental.

II. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O hackathon visa desenvolver um sistema com diversos sensores para monitorar máquinas hidráulicas, tais como máquinas agrícolas ou tratores utilizados em construção civil, com o objetivo de monitorar, pela internet, diversas variáveis do sistema. As equipes devem ter no máximo 05 alunos, e a equipe vencedora será premiada pela empresa HydraForce.

O objetivo é desenvolver aplicação de Internet das Coisas para sistemas hidráulicos as quais podem incluir: GPS para monitoramento da localização das máquinas, sensor de vibração a ser instalado nas bombas hidráulicas, sensor de temperatura do óleo hidráulico, medição de pressão na bomba hidráulica e/ou nas conexões, etc. O sistema a ser desenvolvido não deve obrigatoriamente incluir todos esses sistemas, mas a melhor solução será premiada.

Na condução da atividade após uma demonstração dos sistemas e dispositivos hidráulicos e dos objetivos do projeto, os alunos poderão desenvolver sua solução particular utilizando os sensores que acharem conveniente. Embora a atividade já disponibilize alguns sensores e dispositivos microcontrolados (tal como a plataforma Arduino) a equipe terá plena liberdade para propor sua própria solução a qual deve incorporar os sensores e uma interface que permita o monitoramento pela internet. A solução pode incluir recursos adicionais, tais como aplicativo para dispositivos móveis, recursos de *machine learning* e *analytics* para tratamento dos dados, entre outros.

III. RESULTADOS OBTIDOS E PROBLEMAS ENCONTRADOS

A maioria das equipes desenvolveu sistemas inteligentes de detecção eletrônica, incluindo comunicação sem fio com os usuários, atendendo às expectativas da empresa. A maior dificuldade estava relacionada ao desconhecimento do sistema hidráulico das máquinas a serem monitoradas, o que atrasou o desenvolvimento da solução eletrônica, mas, ao mesmo tempo, devido à necessidade de estudar o tema, ampliou o conhecimento dos alunos.

Pôde ser constatado que houve grande aprendizado por parte dos alunos, principalmente nos dois projetos que se destacaram e compartilharam o prêmio de melhor trabalho. O aprendizado foi multidisciplinar, envolvendo áreas como eletrônica embarcada, sistemas hidráulicos, detecção de IoT, desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis, criação de bancos de dados, lógica de programação, aprendizado de máquina, análise, etc. É importante enfatizar que o papel da empresa na execução do projeto é essencial, não apenas no início da atividade, mas durante todo o projeto. Vários profissionais da empresa participam da orientação, apresentando dicas, mostrando aplicativos reais e respondendo a perguntas. Dessa forma, contribuem efetivamente para a formação da base de conhecimento para a realização do projeto e também para o processo de ensino-aprendizagem.

WebLabs: Laboratórios de Acesso Remoto para Ensino de Controle de Processos em Cursos de Engenharia

Wânderson de Oliveira Assis
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
wanderson.assis@maua.br

Alessandra Dutra Coelho
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
alessandra.coelho@maua.br

Hugo da Silva Bernardes Gonçalves
Engenharia Eletrônica
Instituto Mauá de Tecnologia
São Caetano do Sul, SP, Brasil
hugo@maua.br

Abstract—Este trabalho apresenta uma visão geral de projetos que utilizam laboratórios remotos desenvolvidos no Instituto Mauá de Tecnologia a fim de servir como ferramentas para o ensino de controle de processos em cursos de engenharia, incluindo: “WebLab para controle de velocidade e posição de motores CC”, “WebLab para Controle de Movimento de Robô Móvel”, “WebLab para controle de temperatura de um forno didático” e, finalmente, um “Sistema de controle de nível com acesso remoto pela Web”. Este último laboratório remoto será detalhado mostrando os recursos didáticos utilizados, as funcionalidades disponíveis, os experimentos disponíveis e os primeiros passos para quem deseja implementar um laboratório remoto voltado para a área de controle de processos.

Palavras-Chave—WebLab, educação em engenharia, controle de processos, controle PID

I. INTRODUÇÃO

Os laboratórios de acesso remoto, WebLabs, são exemplos claros do uso da computação na educação, mas com um grande diferencial, devido à possibilidade de aprendizado real com controle à distância. Isso é possível porque os WebLabs oferecem a possibilidade de desenvolver experimentos práticos, acessando remotamente equipamentos em laboratórios reais pela Internet.

Os WebLabs vêm sendo empregados em várias instituições, apresentando soluções para operação remota, geralmente usando software comercialmente disponível ou redes dedicadas. No Instituto Mauá de Tecnologia, vários WebLabs relacionados à área de controle de processos foram desenvolvidos recentemente [1], [2], [3]. Neste trabalho, o objetivo é demonstrar as principais funcionalidades dos laboratórios remotos desenvolvidos, bem como suas limitações.

II. LABORATÓRIOS DE ACESSO REMOTO

Os laboratórios remotos desenvolvidos no IMT consistem em aplicações que aplicam conceitos, técnicas e ferramentas multidisciplinares associadas às áreas de controle de processos, instrumentação, eletrônica, robótica, captura e processamento de imagens, fundamentos de cálculo, entre outras. A maioria dos projetos foi desenvolvida com alunos de iniciação científica ou durante trabalhos de conclusão de curso.

Especialmente, o sistema de controle de nível consiste em uma plataforma de controlador programável (Arduino) e uma interface de computador acessível ao usuário, onde é possível selecionar o nível desejado para o tanque e ajustar os parâmetros do controlador. Os experimentos disponíveis na plataforma são: determinação da curva característica dos sensores, identificação do modelo matemático do sistema usando o método dos mínimos quadrados e ajuste dos controladores PID.

III. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os WebLabs vêm sendo utilizados como ferramenta de ensino em disciplinas relacionadas a “Sistemas de Controle” na última série do curso de Engenharia Eletrônica e no curso de pós-graduação em “Engenharia de Controle de Processos Industriais”, bem como em atividades complementares.

Todos os WebLabs mencionados neste trabalho funcionam adequadamente apresentando interfaces fáceis de usar e algoritmos eficientes com relativa aplicabilidade como ferramenta didática, com a versatilidade de permitir o acesso sempre que quiserem, produzindo uma melhor avaliação dos recursos e aplicação de conceitos, embora apresentem algumas limitações. Especificamente em relação ao sistema de controle de nível, o WebLab provou ser uma ferramenta didática interativa e muito intuitiva, permitindo várias experiências didáticas. Além disso, a possibilidade de acessar a plataforma remotamente a qualquer momento e usar diferentes formas (computadores, smartphones, tablets) forneceu um estímulo adicional aos estudantes, que se motivaram e foram incentivados a realizar outros projetos e pesquisas que empregam conceitos similares.

REFERÊNCIAS

- [1] W. O. Assis, A. D. Coelho, R. Gedraite, E. N. Matta, L. Kunigk “An Educational Tool with Remote Access for Teaching Modelling Control Systems for Engineering Courses”. MSI 2014 – 6th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification, 2016, Campinas, SP, Brazil, 2016.
- [2] W. O. Assis, A. D. Coelho, V. G. Pacheco, R. Gedraite, R. C. Pires, “Applying the Concept of WebLab in a Playful Way - The Electronic Engineering Hands On” ICSE 2014 – 2nd International Congress of Science Education, 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brazil, 2014.
- W. O. Assis, A. D. Coelho, J. C. S. Júnior, L. Kunigk, A. S. Moraes, G. M. Lemos, E. S. Gedraite, E. K. Takahashi, R. Gedraite. “WebLab for Control Applications in Engineering Education” WBE 2013 - The 10th IASTED International Conference on Web-Based Education, 2013, Innsbruck, Austria, 2013.

Teaching Electronics Subject in Different Post-Secondary Courses

Frederico L. Jacob
Physics Department
Instituto Superior de Engenharia do
Porto (ISEP)
Porto, Portugal
fljb@isep.ipp.pt

António S. D. P. Alberto
Physics Department
Instituto Superior de Engenharia do
Porto (ISEP)
Porto, Portugal
apa@isep.ipp.pt

Abstract— Keeping in mind that the courses must be very practical, for example, including numerous laboratory sessions to reinforce the theoretical contents, this work describes the experience of updating a basic analog electronics course as a consequence of the lack of attractiveness and interest of students shown in previous academic years. The main objectives of this subject are the introduction of analog electronics, the acquisition of the ability to evaluate electronic circuits, and the obtainment of the theoretical foundations necessary to understand the functioning of the electronics devices. So, this paper has as principal aim propose a methodological change and explore two different structural forms for the teaching of Electronics subject. It also presents some of the contents followed in the tutorship of this topic, analyses the gains obtained from changing, and evaluate the satisfaction and motivation of the students.

Keywords—*Electronics, Laboratory activities, Methodology, Post-secondary courses, Practical skills, Teaching.*

Plataforma educacional para modelação e controlo

Ramiro S. Barbosa

*GECAD - Research Group on Intelligent Engineering and Computing for Advanced Innovation and Development
Dept. of Electrical Engineering, Institute of Engineering – Polytechnic of Porto (ISEP/IPP)*

Porto, Portugal

rsb@isep.ipp.pt

Abstract—Os kits de hardware educacionais são um bom recurso para reforçar os conceitos lecionados nas aulas teóricas. Este artigo descreve a introdução de um kit laboratorial educacional, denominado sistema eletrónico de regulação térmica (SERT), na unidade curricular (UC) de Controlo Digital (CONDIG) da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (LEEC) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP/IPP). A plataforma SERT é distribuída aos estudantes para reforçar conceitos em modelação e controlo. O kit revelou-se útil na leção da parte laboratorial da UC, permitindo ilustrar e consolidar os conceitos teóricos, tornando as aulas mais motivadoras, participativas e interessantes para os estudantes.

Keywords—Modelação, Controlo, Plataforma educacional, PID, Controlo difuso.

I. INTRODUÇÃO

O SERT consiste de uma placa de desenvolvimento Arduino UNO (ou compatível) e uma *shield* com os sistemas térmicos a controlar. A *shield* Arduino (Fig. 1) contém dois sensores de temperatura lineares TMP36 (S1 e S2), dois transístores de potência TIP31A (atuadores T1 e T2), e duas resistências de potência 33 Ω , 5 W (dissipadores R1 e R2). O sistema é ligado diretamente na porta USB de um computador PC/portátil, e utiliza uma fonte de alimentação de 12 V, 3 A.

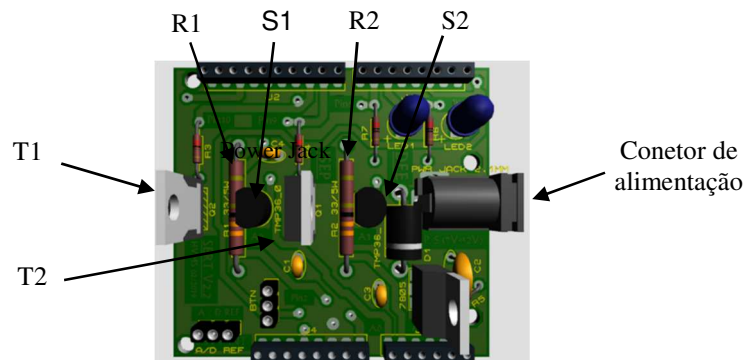


Fig. 1 – Shield Arduino do SERT.

O kit laboratorial pode ser usado para reforçar conceitos em vários tópicos tais como técnicas de modelação (e.g. teste para entradas ao degrau ou em dobrele), algoritmos de controlo simples (e.g. ON-OFF e ON-OFF com histerese), controlo PID, controlo em cascata ou por *feedforward*, e técnicas de controlo inteligente (e.g. controlo difuso e controlo neuronal) [1][2].

Este artigo descreve um conjunto de experiências focadas na modelação e controlo usando a plataforma SERT no âmbito da UC de CONDIG. Assim, neste trabalho são apresentados resultados relacionados com a obtenção de modelos de primeira ordem com e sem tempo de atraso, controlo clássico do tipo ON-OFF, ON-OFF com histerese, P, PI, e a aplicação de uma técnica de controlo inteligente, neste caso em particular o controlo difuso. O *feedback* dos estudantes foi muito positivo, motivando-os a prosseguir os estudos nesta área, bem como a consolidar os conceitos lecionados nas aulas teóricas da UC.

REFERÊNCIAS

- [1] J. A. Rossiter, B. Pasik-Duncan, B. L. Jones, R. M. Murray, L. Vlacic, and S. Dormido, “A Survey of Good Practice in Control Education,” *European Engineering Education Journal*, vol. 43, pp. 801-823, 2018.
- [2] K. J. Åström, T. Hägglund, *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. North Carolina: Instrument Society of America, 1995.

Simulator of mobile robots controlled by Artificial Neural Networks to learning courses in robotics

Lucas Favi Bocca

Electrical Engineering Department
São Paulo State University
Ilha Solteira, SP, Brazil
lucas.bocca@unesp.br

Jônatas Boas Leite

Electrical Engineering Department
São Paulo State University
Ilha Solteira, SP, Brazil
jonatasboasleite@gmail.com

Suely Cunha Amaro Mantovani

Electrical Engineering Department
São Paulo State University
Ilha Solteira, SP, Brazil
suely.mantovani@unesp.br

Abstract— A mobile robot simulator was developed in a computer graphics environment as a didactic tool able to assist the teaching and learning in disciplines that involve mobile robotics. It is also useful in validating control algorithms before testing on a real robot. The developed interface allows the user to adjust the parameters of the robot, the controller and exchange maps with different obstacles. In addition to the kinematics and 2D modeling of the virtual mobile robot with wheels, three sensors were used that indicates the robot's distance to obstacles and walls. The robot controller uses a Multilayer Perceptron Neural Network (MLPNN) for autonomous navigation avoiding the collision with obstacles.

Keywords — *Computational simulation, Robotics course, Virtual mobile robot, Multilayer perceptron neural networks.*



Session TS-5B

Demo Session

Modular Battery Management System for Power Electronics Practical Laboratory Lessons

José Cabrera Peña, Samuel Ortega, Eduardo Quevedo, Himar Fabelo, Gustavo M Callico

*Institute for Applied Microelectronics
University of Las Palmas de Gran Canaria
Las Palmas de Gran Canaria, Spain*

jcabrera@iuma.ulpgc.es, sortega@iuma.ulpgc.es, equevedo@iuma.ulpgc.es, hfabelo@iuma.ulpgc.es, gustavo@iuma.ulpgc.es

Abstract— Current engineering bachelor degrees usually suffer from a lack of finalist content, and also a suitable orientation to the real practical professional activities. This work addresses the implementation of a project-based methodology using a fully functional modular battery management system (BMS) for “Power Electronics” practical laboratory lessons, combining the knowledge and specifications of three related subjects taught in the last course of “Automatic and Electronic Industrial Engineering” bachelor degree.

Keywords— *Power Electronics, Converters, Controllers, Inverters, Practical bachelor teaching*

Desarrollo de un juego sobre FPGA mediante trabajo en equipo

Carlos Jesús Jimenez-Fernández
Dpto. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Instituto Microelectrónica de Sevilla
IMSE-CNM CSIC/US
Sevilla, España
cjesus@imse-cnm.csic.es

Carmen Baena Oliva
Dpto. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Instituto Microelectrónica de Sevilla
IMSE-CNM CSIC/US
Sevilla, España
baena@imse-cnm.csic.es

Pilar Parra Fernández
Dpto. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Instituto Microelectrónica de Sevilla
IMSE-CNM CSIC/US
Sevilla, España
parra@imse-cnm.csic.es

Alejandro Gallardo Soto
Dpto. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
alegallardo@us.es

Francisco Eugenio Potestad Ordóñez
Instituto Microelectrónica de Sevilla
IMSE-CNM CSIC/US
Sevilla, España
potestad@imse-cnm.csic.es

Manuel Valencia Barrero
Dpto. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Instituto Microelectrónica de Sevilla
IMSE-CNM CSIC/US
Sevilla, España
manolov@imse-cnm.csic.es

Abstract—El aprendizaje de diseño digital a nivel RT por los alumnos mejora con trabajos prácticos, desarrollables en equipo, que permitan tanto el avance gradual de complejidad conforme se avanza en el aprendizaje como que la propuesta sea atractiva para ellos como son la realización de sencillos juegos. Las FPGA y las placas de desarrollo ofrecen una plataforma muy adecuada para la implementación de esos diseños. En esta comunicación se presenta un trabajo en la asignatura Diseño Digital Avanzado (4º curso de Grado) consistente en la construcción de una versión ligeramente adaptada del juego “simon dice” en el que el jugador debe ir memorizando una secuencia que se hace más difícil a medida que van pasando niveles. El trabajo, que ocupa la segunda mitad del cuatrimestre, es realizado por equipos de tres alumnos y debe conseguir un demostrador implementado en una placa de Digilent Nexys4-DDR.

Keywords—VHDL, diseño de sistemas digitales, juegos en VHDL, FPGA.

I. INTRODUCCIÓN

Las asignaturas de diseño digital en últimos cursos de Grado en titulaciones electrónicas permiten utilizar lenguajes de descripción de hardware y dispositivos FPGA como plataforma para probar de forma experimental los circuitos diseñados. Esta metodología tiene muchas ventajas. Una de ellas es la utilización de un único entorno de CAD para el diseño, la verificación y la programación de los dispositivos. Además este software es ofrecido de forma gratuita para uso docente por los fabricantes de FPGA. Otra ventaja es la disponibilidad de placas de desarrollo, que incluyen además de la FPGA elementos de visualización e interfaz que permiten introducir valores a las entradas y ver resultados en las salidas. Por todo esto la enseñanza de diseño digital con el tándem VHDL-FPGA es una alternativa con un coste aceptable y, sobre todo, muy práctica con un alto atractivo para los alumnos.

En la asignatura Diseño Digital Avanzado del cuarto curso del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial, impartida en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, se pretende que el alumno aprenda los conceptos más importantes del diseño digital. Se enseña cómo realizar la descripción de circuitos digitales usando el lenguaje de descripción de hardware VHDL y la forma de

implementarlos sobre dispositivos FPGA (en nuestro caso de Xilinx).

El alumno tiene que realizar un trabajo propuesto sobre una placa de desarrollo Nexys4-DDR de Digilent de las que se dispone en laboratorio.

En esta comunicación presentamos una propuesta llevada a cabo como trabajo en equipo dentro de la asignatura. Se trata del desarrollo de un juego de habilidad y memoria similar al conocido “Simón dice”. Debido a que el diseño es bastante complejo se realiza como segundo trabajo de la asignatura y es desarrollado por equipos de tres alumnos. En cada equipo se propone un reparto de tareas entre los componentes tanto a nivel de diseño como de verificación, con lo que se entrenarán competencias de comunicación, liderazgo y trabajo colaborativo.

La realización de este trabajo supone un aprendizaje en múltiples conceptos ya que, además de los propios diseños en VHDL, se necesita utilizar un módulo adicional consistente en una matriz de diodos LED que ha de conectarse con la placa de desarrollo para mostrar las imágenes en secuencia que forman parte del juego.

La estructura de esta comunicación es como sigue: en el segundo apartado se explica el mecanismo del juego. En el apartado III se detalla el diseño a realizar por parte de los alumnos. En el IV, se presenta la implementación y los resultados experimentales. Finalmente, se resumen las conclusiones.

II. ESPECIFICACIONES DEL JUEGO

La tarea que se desarrolla en el trabajo, como se ha comentado previamente, consiste en emular el conocido juego “Simón dice”.

El objetivo de este juego es recordar en orden una secuencia de eventos que se producen y ser capaz de reproducirla. La longitud de esta secuencia de eventos se va incrementando progresivamente conforme se avanza de nivel en el juego. En nuestro caso, los eventos a memorizar son cinco dibujos diferentes, concretamente: un círculo y cuatro flechas: arriba, abajo, derecha e izquierda que se visualizarán en una matriz de 8x8 leds. Dicha matriz está insertada en una placa (“Fig. 1”) que es el resultado de un

trabajo previo que se conecta a la Nexys4 a través de los puertos PMODS.

Las imágenes que se muestran en la matriz de LED se generan de forma (pseudo)aleatoria. Se empieza por una sola imagen que debe ser recordada y reproducida por el jugador. En el siguiente paso, que supone subir un nivel, se añade una nueva imagen que se muestra en secuencia con la anterior y así sucesivamente, añadiendo una imagen cada vez que se supere un nivel. El número de imágenes de la secuencia representa el nivel alcanzado, que se va mostrando en los visualizadores 7 segmentos de la Nexys4. En caso de fallo, se comienza un nuevo juego con una nueva y diferente secuencia.

Cada imagen debe estar visible un cierto tiempo razonable, después se apaga, se muestra el siguiente evento, se vuelve a apagar y así todos los dibujos de ese nivel. Una vez mostradas todas las imágenes se esperará a que el jugador repita la secuencia.

Para reproducir la secuencia el jugador debe presionar uno de los cinco pulsadores que tiene la placa Nexys4 (uno por evento). Los cinco pulsadores están dispuestos en la placa formando una cruz, lo que facilita la asociación de cada uno de los pulsadores de los extremos con la dirección de cada flecha y el pulsador central con el círculo. Si la secuencia es correcta se pasa al siguiente nivel, pero si es incorrecta se debe mostrar una X en la matriz de LED dándose por finalizado el juego.

El estado del juego se indica con tres leds de colores incluidos en la Nexys4. Se encenderá un led de color azul cuando se pueda pulsar, verde cuando se pulse de forma correcta y rojo cuando se haya fallado.

En el siguiente apartado describiremos el sistema a desarrollar.

III. DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación, se presentan los detalles más significativos del sistema que el equipo de alumnos ha de

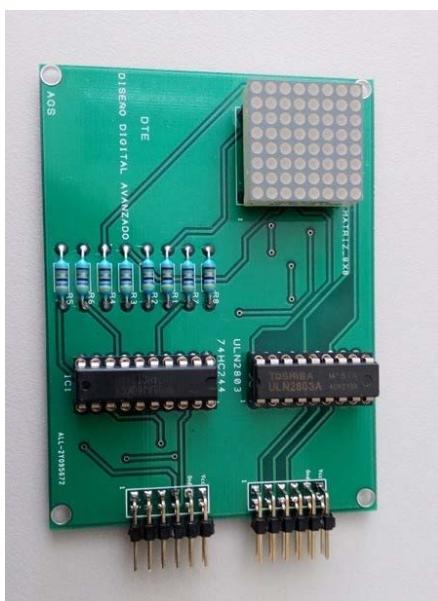


Fig. 1. Placa que contiene matriz de LED 8x8.

diseñar. El módulo principal llamado “simon_dice” (“Fig. 2”) consta de las siguientes entradas y salidas.

Comenzando por las entradas, se tiene:

- clk: señal de reloj, se usará el reloj de la placa Nexys4, que es de 100 MHz.
- reset: señal de reset asíncrono activa en alta. Se conectará al conmutador SW0 de la placa.
- btneu, btnd, btrn, btlnl, btnc: que se conectarán a los pulsadores, de la placa.
- inicio_juego: Se conectará al conmutador SW1 de la placa.

Respecto a las salidas:

- fila: 8 bits que indican la fila de la matriz de LED que se iluminará.
- col: 8 bits que indican los leds que se iluminarán para una fila concreta de la matriz de LED.
- led_r, led_b, led_g: señales que controlarán los leds rojo, azul y verde de la placa.
- an: 8 bits que habilitan el encendido de cada uno de los visualizadores 7 segmentos de la placa.
- ca, cb, cc, cd, ce, cf, cg: señales que controlan los segmentos de cada visualizador.

Se recomienda que el diseño tenga una estructura jerárquica, con los siguientes módulos: rom_simon, ram_datos, lfsr_16, debounce_cod, bin2bcd, bcd7seg (“Fig. 3”).

El módulo rom_simon consiste en una memoria ROM que almacenará la codificación de las imágenes que se mostrarán en la matriz de LED 8x8. Cada símbolo requiere 8 filas de 8 bits. Hay que almacenar al menos siete imágenes: las cinco que pueden formar parte de la secuencia del juego, la X para indicar fallo y otra para apagar toda la matriz. Por lo tanto, se va a generar una ROM de 64 palabras de 8 bits con bus de direcciones addr_fila y bus de datos data_fila. En la “Fig. 4” se muestran las siete imágenes referidas. Para generar el contenido de la ROM se puede utilizar un editor de matrices de LED [2].

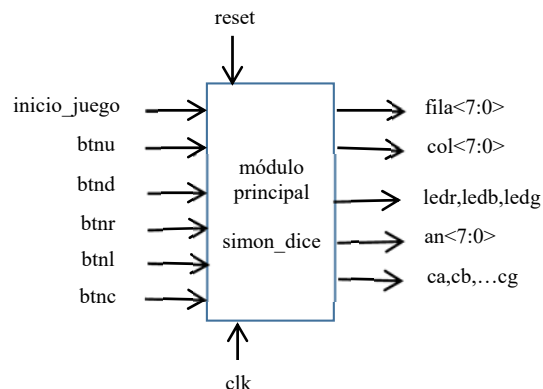


Fig. 2. Diagrama de bloque del módulo simon_dice.

El módulo `ram_datos` es una memoria RAM con doble puerto, uno para escritura y otro para lectura. En esta memoria se almacenará la secuencia pseudo-aleatoria de dibujos a recordar. El número máximo de valores a recordar va a ser de 128 y como hay 5 posibles valores se necesitan 3 bits para codificarlos (códigos del 0 al 4). Por lo tanto esta memoria es una RAM de 128 palabras de 3 bits con buses de dirección `addra` y `addrb` y buses de datos `dia` para escritura y `doa`, `dob` para lectura.

La secuencia de imágenes a recordar se genera de forma pseudo-aleatoria y se almacena en el módulo `ram_datos`. Para generar dicha secuencia se va a utilizar el módulo `lsfr_16`. Se trata de un registro de desplazamiento con realimentación lineal: con el reset se carga un valor inicial y en cada ciclo de reloj se hace un desplazamiento desde el bit menos significativo hacia el bit más significativo. En el bit menos significativo se introduce la operación XOR de varios bits del propio registro. En este diseño se introduce la operación XOR de los bits 10, 12, 13 y 15. El valor inicial que se cargue al hacer el reset no puede ser todos los bits a cero.

Este módulo tiene como entradas el reloj y el reset y como salida los 16 bits del registro de desplazamiento de los cuales, los tres más significativos, se conectan al bus de datos de entrada (dia) de la RAM para su escritura.

Para que el sistema funcione bien es esencial eliminar los rebotes que aparecen cuando se presiona y se suelta un pulsador porque en caso contrario el circuito lo interpretará como si se hubiera pulsado dos veces detectando por lo tanto una secuencia incorrecta. Se utilizan cinco circuitos filtradores de rebotes uno para cada pulsador que se nombran `debounce_u`, `debounce_d`, `debounce_r`, `debounce_l` y `debounce_c`. Los alumnos pueden elegir la forma concreta de realización aunque deben explicar cómo lo han diseñado.

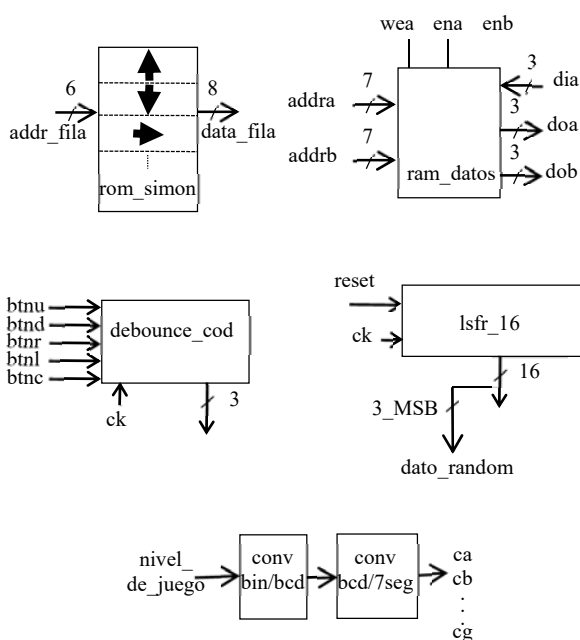


Fig. 3. Bloques internos más significativos del módulo principal.

El módulo `debounce_cod` tiene dos funciones: en primer lugar, proporciona una señal de reloj dividida a los módulos `debounce`, de forma que consuman menos recursos. En segundo lugar, proporciona al diseño `simon_dice` una señal de 3 bits en la que se codifica el botón pulsado (5 códigos) y un código diferente que indique si se ha pulsado más de un botón a la vez. Ha de tenerse en cuenta que el código debe coincidir con el almacenado en la `ram_datos` y con la visualización en la matriz de LED 8x8.

Por último, se usan convertidores de código para mostrar en los visualizadores 7 segmentos de la Nexys4 el nivel de juego según se avanza.

Todo el sistema se realiza en código VHDL. Esto incluye, por una parte, la descripción de los módulos ya presentados, y por otra, la descripción del módulo principal `simon_dice`. En esta última, se realiza la conexión entre los módulos de la jerarquía y se incluye la definición de varios procesos. Tales son, la generación de la secuencia pseudoaleatoria, la escritura de la RAM con la secuencia aleatoria, y el control del juego: inicio del proceso de mostrado de imágenes, captación de pulsaciones del jugador, comprobación de coincidencias, almacenamiento de nivel conseguido, avance de nivel o detección de fallo y, en suma, todas las tareas necesarias para el funcionamiento del juego.

En cuanto a la generación de la secuencia pseudo-aleatoria se recomienda, para simplificar el proceso, que cada vez que se inicie un juego se generen los datos pseudo-aleatorios de los 128 niveles y se escriban en la `ram_datos`. Para ello, en un proceso se van tomando los 3 bits más significativos de la salida del componente `lsfr_16`. Si el valor está comprendido entre 0 y 4 lo escribe en la memoria. En caso contrario, deja que pasen 8 ciclos de reloj y vuelve

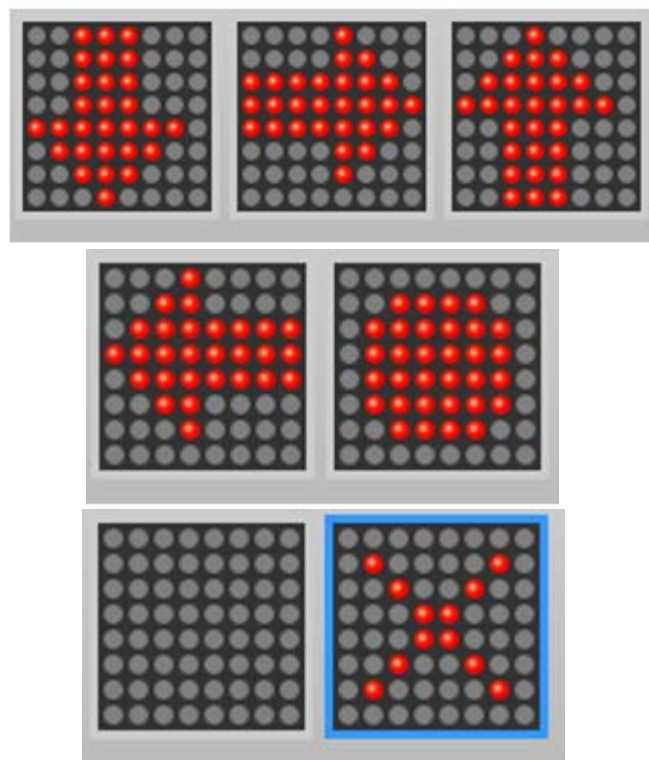


Fig. 4. Imágenes del juego sobre matriz LED 8x8.

a tomar otro dato. Cuando haya escrito los 128 valores pondrá una señal a '1' indicando que puede empezar las distintas fases de juego.

Se recomienda que todas las fases del juego se controlen en un proceso. Este proceso tendrá que hacer las siguientes tareas:

- El proceso tendrá que iniciarse cuando no se esté jugando y la señal inicio_juego se ponga a '1'.
- Una vez iniciado, hay que mostrar en la matriz de LED 8x8 la secuencia a recordar. Para ello, mantendrá un cierto tiempo la imagen correspondiente, después mantendrá un cierto tiempo la matriz apagada y a continuación mostrará la siguiente imagen, y así hasta que haya mostrado todas las imágenes correspondientes al nivel en el que se encuentre el jugador.
- Después pasa a comprobar la secuencia de botones pulsados. Esta fase comienza con el encendido del led color azul. A continuación, cada vez que se pulse de forma correcta se enciende el led verde.
- Si la secuencia es correcta, se aumenta el nivel y se muestra la misma secuencia anterior añadiendo una imagen más.
- Si la secuencia es incorrecta se muestra en la matriz la indicación de fallo (X) y se enciende el led de color rojo.
- Por último, se espera a que se ponga a '1' la entrada inicio_juego para generar una nueva secuencia pseudo-aleatoria y comenzar de nuevo.

Para mostrar las imágenes en la matriz de LED 8x8, se recomienda que se haga leyendo directamente la memoria rom_datos. Para ello, el proceso que controla el funcionamiento del juego fija los 3 bits más significativos del bus de dirección de la memoria rom_datos (información leída de la memoria ram_datos), para indicar la imagen que hay que mostrar en la matriz. Los tres bits menos significativos se cambian de forma secuencial y se usan para decodificar la fila de la matriz (salida fila). En cada momento, el valor de la columna de la matriz (salida col) será el valor almacenado en la dirección correspondiente de la memoria rom_datos.

Por ejemplo, suponiendo que la flecha hacia la izquierda empieza en las direcciones más bajas de la memoria, tendríamos que sus 8 filas estarían en las direcciones binarias "000_000" a "000_111". Si la flecha hacia la derecha es la siguiente sus direcciones serían "001_000" a "001_111", y así sucesivamente. Por lo tanto, si se quiere visualizar la flecha hacia la izquierda, el proceso que controla la fase de juego fijaría los tres bits más significativos ("000") y otro proceso generaría de forma cíclica los tres bits menos significativos ("000" a "111"), así se irían leyendo los valores de la memoria ROM y se mostrarían en la matriz.

En el siguiente apartado, se detalla cómo se ha implementado el trabajo dentro de la asignatura.

IV. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Este trabajo se desarrolla como una tarea en equipo, a desarrollar como parte de los créditos no presenciales.

El equipo, formado por tres estudiantes, recibe la documentación necesaria que incluye: objetivos del trabajo, descripción general del juego, descripción del diseño a realizar con indicaciones de cómo llevarlo a cabo e instrucciones para la verificación del sistema. Asimismo, se les anima a que realicen variaciones de juego y lo añadan como diseño complementario.

Los alumnos disponen de un mes para la realización del trabajo, en el que pueden acudir a tutorías.

El entorno de diseño que deben usar es ISE Design Suite 14.7 de Xilinx. Para usarlo, pueden acceder al laboratorio de la asignatura donde, además, se les suministra las placas de desarrollo y la placa con la matriz de LED ("Fig.1").

Como resultado del trabajo deben entregar:

- Un fichero zip que contenga el diseño del proyecto completo. Este debe contener los ficheros de diseño y todos los ficheros de test bench utilizados, también el fichero de restricciones de pines. Además, debe entregar el fichero ".bit" de programación de la placa.
- Un documento que detalle de forma clara y concisa cómo se ha realizado cada uno de los diseños, detallando la estrategia seguida para realizar el circuito de debounce y explicando cómo se ha realizado el proceso de las fases de juego.
- Una tabla con el trabajo realizado por cada alumno.
- Una relación de las dificultades más significativas con las que se han encontrado y cómo han sido solventadas.

Una vez entregado el trabajo, todos los equipos deben mantener reuniones con el profesor para defenderlo. La evaluación tiene en cuenta la contribución de cada alumno al proyecto y, aunque es un trabajo en equipo, la nota es individual.

A continuación, se muestran algunas fotos obtenidas tras la implementación, donde puede apreciarse el sistema en funcionamiento en distintas etapas del juego.

Concretamente, en la "Fig. 5", se muestra la placa con la FPGA ya programada en el instante inmediatamente anterior al comienzo del juego.

En las "Fig. 6-8" se observa la placa en tres niveles de juego diferentes y con la matriz mostrando alguno de los símbolos.

Por último, en la "Fig. 9" aparece la placa en situación de fallo del jugador, lo que se identifica por el diodo rojo encendido y la cruz mostrada en matriz de LED.

V. CONCLUSIONES

Con esta propuesta de trabajo se consigue que el alumno se enfrente al desarrollo de un diseño suficientemente complejo a partir de unas indicaciones muy generales. Además, el estudiante realiza el proceso completo de diseño, es decir, la escritura del código VHDL, depuración de errores, escritura del fichero de estímulos (*testbench*) que permite la simulación funcional, la implementación en la placa y su comprobación experimental.

Se pone énfasis en el trabajo en equipo, lo que incluye la capacidad de establecer un adecuado reparto de tareas y roles, así como el desarrollo de competencias de comunicación oral, tanto entre compañeros durante el transcurso de la actividad como con el profesor a la hora de la exposición de resultados.

Como conclusión se puede añadir que los estudiantes realizan con éxito el trabajo llegando incluso a proponer modificaciones puntuales o ampliaciones en algunos casos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente soportado el proyecto INTERVALO (TEC2016-80549-R).

REFERENCIAS

- [1] Puede consultarse el proyecto docente en el enlace: <https://www.us.es/estudiar/que-estudiar/oferta-de-grados/grado-en-ingenieria-electronica-industrial/2010034> (accedido en marzo 2020).
- [2] Editor de matrices de LED: <https://xantorohara.github.io/led-matrix-editor/>
- [3] Pueden consultarse las especificaciones de la placa de desarrollo Nexys4 en: <https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/nexys-4-ddr/reference-manual>

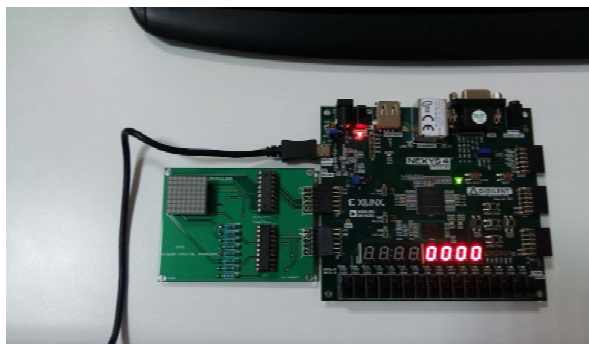


Fig. 5. Placa en instante previo al comienzo del juego.

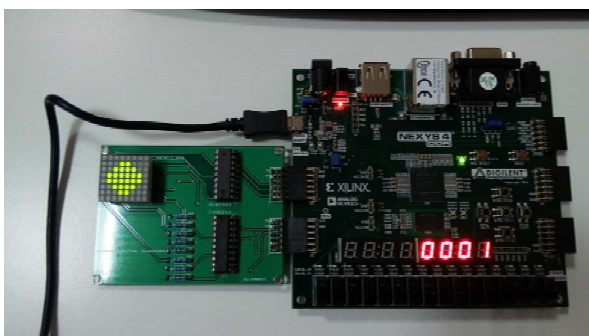


Fig. 6. Placa en nivel 1 del juego.

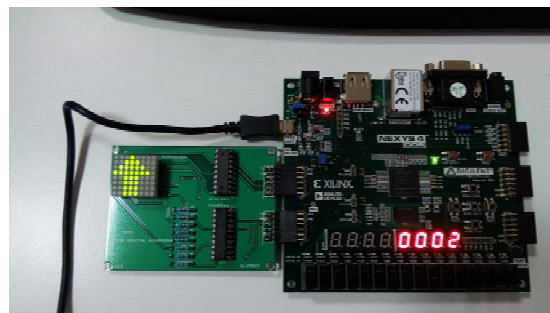


Fig. 7. Placa en nivel 2 del juego.

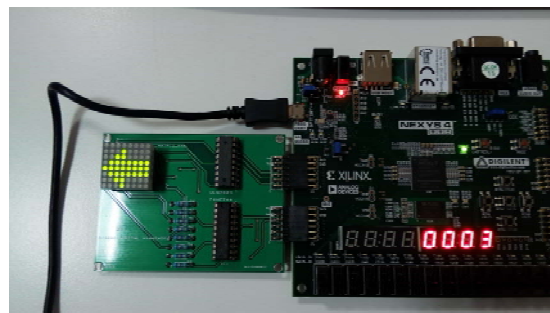


Fig. 8. Placa en el nivel 3 del juego.

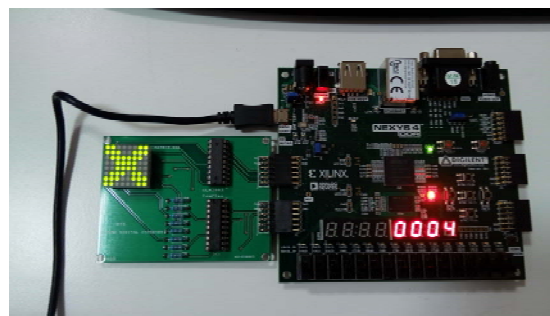


Fig. 9. Placa en el instante de fallo del jugador.

Laboratorio Remoto de Electrónica Digital Basado en FPGA

Óscar Oballe-Peinado
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
oballe@uma.es

Julián Castellanos-Ramos
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
jcramos@uma.es

José Antonio Sánchez-Durán
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
jsd@uma.es

Rafael Navas-González
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
rjnavas@uma.es

Alberto Daza-Márquez
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
alma@uma.es

Jesús Alberto Botín-Córdoba
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
jesus.botin@uma.es

Abstract—El desarrollo e implementación de un laboratorio remoto basado en FPGA permite mejorar la docencia de asignaturas de Electrónica Digital, poniendo a disposición de los estudiantes una aplicación web donde probar a distancia, sobre hardware real, los diseños propuestos en las prácticas. Un servidor, conectado al sistema de desarrollo, configura el dispositivo a partir de los diseños propuestos y permite al usuario remoto interactuar con sus periféricos de entrada y salida. El propio servidor es capaz de gestionar las conexiones y su tiempo de utilización para evitar el bloqueo de los recursos, permitiendo, además, la elaboración de estadísticas de uso.

Keywords—*e-learning, laboratorio remoto, electrónica digital, FPGA*

I. INTRODUCCIÓN

La docencia de asignaturas de Electrónica Digital suele incluir una componente práctica que se lleva a cabo en laboratorios docentes. Estas prácticas acostumbran a realizarse sobre sistemas de desarrollo basados en un dispositivo lógico programable que, gracias a su versatilidad, admite la implementación de cualquier circuito digital, tanto combinacional como secuencial, así como de sistemas embebidos. Para ello, una aplicación informática permite el diseño, simulación e implementación de los circuitos en el propio laboratorio. Sin embargo, los estudiantes demandan una mayor disponibilidad de estos laboratorios para verificar sus diseños sobre el hardware real. Esto genera varios problemas: falta de disponibilidad de los laboratorios, por su alto grado de ocupación; el número de placas disponibles no es suficiente para satisfacer los picos de demanda; y la necesidad de monitores que controlen el uso de la plataforma de desarrollo. Por esto, el uso de una aplicación web que permita verificar los diseños sobre el hardware real, de la misma forma en que se realiza en el propio laboratorio, pero de forma remota, es una opción muy interesante.

Esta idea no es nueva [1], [2], siendo empleada, mayoritariamente, por instituciones de educación a distancia, por necesidades obvias. Gran parte de los trabajos [3] hacen uso de webcams para monitorizar el comportamiento del sistema. Esto, no solo redundaría en el coste económico de la propia cámara, sino en los requerimientos de ancho de banda que se precisan entre los sistemas servidor y cliente.

También cabe señalar que Universidades como la UNED [4] o la Universidad de Deusto [5] implementan laboratorios remotos haciendo uso de webcams.

La propuesta que se presenta en este trabajo es la de crear un laboratorio remoto que no precise de cámaras web como método de realimentación, utilizando en su lugar una representación virtual del sistema de desarrollo a través de una aplicación web. Además, se extienden los periféricos disponibles en el propio kit de desarrollo, mediante el uso de un microcontrolador que simula el comportamiento de dichos periféricos.

La estructura de este artículo es la que sigue: en primer lugar, se lleva a cabo una introducción general del trabajo realizado, así como de las capacidades desarrolladas por el sistema. A continuación, se describe la arquitectura de la aplicación web, donde se discuten las decisiones de diseño. Posteriormente, se describe la interfaz de la aplicación, se discute sobre el desarrollo de firmwares de virtualización de periféricos y, por último, se finaliza con las conclusiones.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es implementar un sistema de laboratorio remoto de electrónica digital en el que los usuarios, de una manera no presencial y a través de un navegador de su elección, puedan llevar a cabo la configuración de un dispositivo lógico programable donde verificar el comportamiento de sus diseños de forma idéntica a como lo harían de realizarlo in situ. Éste es un aspecto importante ya que el diseño será el mismo, tanto para la programación remota, como para la programación presencial, sin tener que alterarse el circuito en sí mismo.

En nuestro caso, el laboratorio remoto está implementado mediante un servidor conectado, a través de una conexión USB, a una placa de desarrollo basada en FPGA (Nexys 3 de Digilent Inc. [6]). Las FPGAs son dispositivos lógicos programables capaces de implementar cualquier circuito, o conjunto de ellos, combinacional o secuencial. La única restricción que encontraremos es que el diseño no debe emplear más recursos de los que el propio dispositivo incorpora. Dado el carácter docente de los diseños abordados en las prácticas de laboratorio, y su media o baja complejidad, éste no es un problema a considerar.

La placa de desarrollo Nexys 3, además del dispositivo FPGA, incorpora una serie de periféricos básicos (interruptores, pulsadores) con los que estimular las entradas de los circuitos, y otros (diodos LED, displays 7 segmentos, etc.) con los que observar el comportamiento de las salidas de dichos circuitos.

Por otro lado, la Nexys 3 posee una serie de conectores de expansión (PMODs) que pueden ser usados para conectar distintos periféricos a la FPGA. El catálogo es muy amplio [7], pudiéndose encontrar módulos de todo tipo (sensores, convertidores A/D y D/A, etc.) por lo que las posibilidades a la hora de desarrollar prácticas docentes son casi infinitas.

A diferencia de otros laboratorios remotos anteriormente mencionados, esta propuesta evita el uso de webcams para verificar el comportamiento del sistema, disminuyendo por tanto el ancho de banda necesario en las comunicaciones entre servidor y cliente. Para ello, se deben incorporar una serie de módulos en el diseño, totalmente transparentes para el estudiante en este caso, que permitan excitar y monitorizar el estado de los periféricos de la placa de desarrollo. Los periféricos de entrada/salida básicos contenidos en la Nexys 3 se implementan a través de registros donde se lee (periféricos de salida) o escribe (periféricos de entrada) desde el servidor. Por otro lado, una placa Arduino [8], conectada a los puertos de expansión de la placa Nexys 3, simula el comportamiento de los distintos módulos de expansión que pudiesen ser usados.

El usuario, a través de una aplicación web, accede al servidor donde se gestiona el control de acceso estableciendo un tiempo de uso. Una vez identificado, el archivo de configuración de la FPGA debe ser transferido, tras lo cual la verificación del diseño digital puede ser llevada a cabo. Para ello, componentes gráficos que hacen las veces de periféricos virtuales de entrada (interruptores, botones, etc.) y de salida (ledes, displays 7 segmentos), así como otros conectados a los puertos de expansión, pueden ser usados.

A continuación, se describen de forma detallada las características que posee el sistema para su correcto funcionamiento como laboratorio remoto:

- El usuario tiene la capacidad de acceder de forma remota a la plataforma de desarrollo desde cualquier lugar. Ésta es la principal ventaja de este tipo de sistema. Además, la aplicación web debe ser compatible con la mayoría de los navegadores y plataformas (PC, tablet, teléfono móvil).
- Se permite el registro de nuevos usuarios, aunque la validación de los mismos está supervisada. Con esto se garantiza que los usuarios del sistema pertenecen al colectivo de la comunidad educativa a la que vaya destinada la herramienta.
- Se permite al usuario modificar sus propios datos (contraseña de acceso, datos de contacto, etc.).
- El usuario se debe identificar en el sistema antes de operar con él, permitiendo, de esta forma, la elaboración de estadísticas de uso que sirven para evaluar la experiencia.
- Existe un control del tiempo de uso de la aplicación web, por lo que las sesiones caducarán tras un tiempo determinado. Esta medida garantiza la disponibilidad del laboratorio remoto para los distintos usuarios durante periodos de alta demanda de uso.
- Se dispone de una interfaz de administración para la gestión de los usuarios.

- El usuario debe cargar el fichero de configuración con el diseño para la FPGA y el sistema le informa sobre el resultado de la configuración (correcta o errónea).
- Se permite actuar remotamente sobre los periféricos básicos de entrada a la FPGA a través de su representación en pantalla. Dichas acciones son transferidas al dispositivo a medida que se van produciendo.
- Se tiene la posibilidad de elegir módulos externos virtuales con los que interactuar en los diseños.
- Se lee la información proporcionada por el servidor en lo referente al estado de los periféricos de salida de la placa de desarrollo, mostrándose virtualmente.
- El sistema tiene la capacidad de comunicarse con la placa Arduino para informar sobre el módulo virtual que debe emular, así como para enviar y recibir los datos que permitan interactuar con él.
- El comportamiento de la placa de desarrollo remota es idéntico al del sistema real, por lo que el diseño no tiene que modificarse por el hecho de realizar la verificación remota o presencial. El mismo archivo de configuración puede ser usado bajo ambas circunstancias.
- El sistema garantiza una alta disponibilidad. Por este motivo, tanto el servidor como la placa de desarrollo se alimentan a través de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- La aplicación web del laboratorio remoto debe ser robusta para garantizar su correcto funcionamiento ante cualquier interacción que pueda llevarse a cabo sobre ella.

III. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN WEB

Generalmente una aplicación web está estructurada como una aplicación de tres capas, pero en este caso se ha considerado una estructura de cuatro capas (Fig. 1).

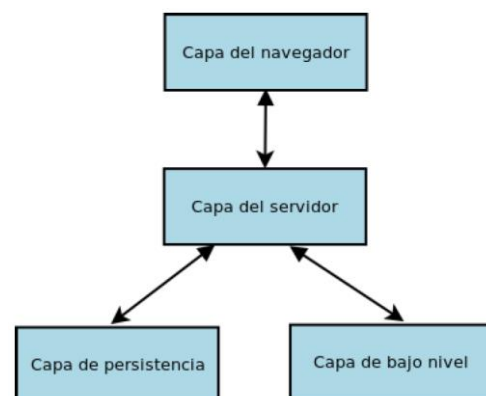


Fig. 1. Capas de la aplicación web del laboratorio remoto

El navegador web envía peticiones a la capa intermedia, la cual ofrece servicios valiéndose de la capa de persistencia (accesos a la base de datos), o a la capa de bajo nivel (acceso a la FPGA). La Fig. 2 muestra un esquema general de la arquitectura del sistema de laboratorio remoto.

Todas las tecnologías empleadas en la implementación de la aplicación web son de código abierto.

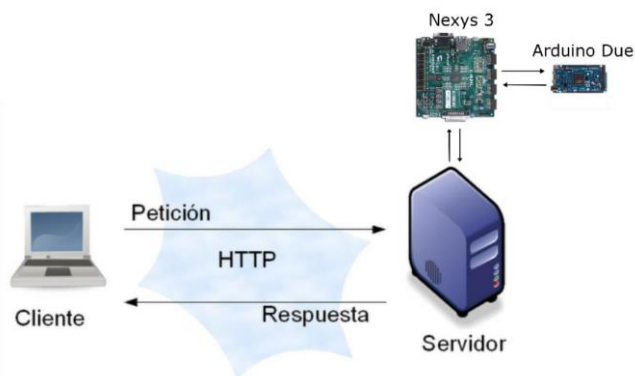


Fig. 2. Esquema de la arquitectura del sistema de laboratorio remoto.

A. Capa de Navegador

También se la conoce como el FrontEnd de la aplicación e incluye a todas aquellas tecnologías que se ejecutan del lado del cliente, es decir, todas aquellas que corren del lado del navegador web, concretándose sobre todo en tres lenguajes, HTML, CSS y JavaScript. Estas tecnologías son empleadas para añadir ciertas funcionalidades, a partir de lenguajes interpretados (scripts) en el lado del cliente, ofreciendo una experiencia interactiva que no requiere de una recarga de las páginas de la aplicación web cada vez que se actúa sobre ellas. Además, se han desarrollado tecnologías para coordinar estos lenguajes con las tecnologías en el lado del servidor.

En el caso concreto del laboratorio remoto, esta capa resuelve los requisitos asociados directamente con el interfaz, como son los formularios y los controles virtuales.

Los lenguajes usados en esta capa son:

- HTML5 (HyperText Markup Language, versión 5) y CSS3 (Cascading Style Sheets) como lenguajes para el renderizado de las páginas de la aplicación web en los distintos clientes. Ambas tecnologías incorporan nuevas características, proporcionando así una plataforma de desarrollo de aplicaciones web complejas.
- Javascript (abreviado comúnmente JS) es un lenguaje de programación interpretado. Se utiliza en su forma del lado del cliente (client-side), implementado como parte del navegador web, permitiendo mejoras en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas.

Además de estos lenguajes, han sido empleadas otras tecnologías relacionadas con los mismos.

Para la transferencia de información:

- AJAX (Asynchronous JavaScript And XML) es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas o RIA (Rich Internet Applications). Estas aplicaciones se ejecutan en el cliente, es decir, en el navegador de los usuarios mientras se mantiene la comunicación asíncrona con el servidor en segundo plano. De esta forma es posible realizar cambios sobre las páginas sin necesidad de recargarlas, mejorando la interactividad, velocidad y usabilidad en las aplicaciones.
- JSON (JavaScript Object Notation) es un formato de texto ligero para el intercambio de datos. JSON es un subconjunto de la notación literal de objetos de Javascript, aunque a día de hoy, debido a su amplia

adopción como alternativa a XML, se considera un formato de lenguaje independiente.

Para el desarrollo rápido y eficaz:

- Bootstrap es un framework web o conjunto de herramientas de código abierto para diseño de sitios y aplicaciones web. Contiene plantillas de diseño con tipografía, formularios, botones, cuadros, menús de navegación y otros elementos de diseño basado en HTML y CSS, así como extensiones opcionales de JavaScript.
- jQuery es una biblioteca multiplataforma de Javascript, que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manipular el árbol DOM, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas web.

B. Capa de Servidor

Son numerosos los lenguajes de programación empleados para el desarrollo de aplicaciones web en la parte del servidor. Entre las numerosas tecnologías posibles para esta capa, se ha decidido usar las siguientes tecnologías:

- Python, es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel, y un enfoque simple, pero efectivo, a la programación orientada a objetos. El uso de Python es consecuencia de la elección de Django para el diseño web. Django es un framework de desarrollo web de código abierto, escrito en Python, el cual respeta el patrón de diseño conocido como Modelo-Vista-Controlador. Django pone énfasis en la reusabilidad, la conectividad y extensibilidad de componentes, el desarrollo rápido y el principio de no te repitas (DRY, del inglés Don't Repeat Yourself). Python es usado en todas las partes del framework, incluso en configuraciones, archivos y en los modelos de datos.
- Node.js, que es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome. Node.js usa un modelo de operaciones E/S sin bloqueo y orientado a eventos, que lo hacen liviano y eficiente. En nuestro caso, Node.js ha sido requerido para hacer eficientes las comunicaciones asíncronas entre el lado cliente y el lado servidor. Se encontró una solución óptima basada en sockets a partir de características de Node.js, como la E/S no bloqueante y su funcionamiento orientado a eventos, consiguiendo tiempos de respuesta muy aceptables.

C. Capa de Persistencia

En esta capa se ubica el servidor de Base de Datos requerido por Django. Éste tiene controladores para diferentes servidores de Base de Datos, pero se ha considerado más apropiado usar MariaDB, que es un sistema de gestión de bases de datos derivado de MySQL con licencia GPL (General Public License). Tiene una alta compatibilidad con MySQL, ya que posee las mismas órdenes, interfaces, APIs y bibliotecas.

D. Capa de Bajo Nivel

En esta capa se ubican los ejecutables que permiten el acceso físico a la FPGA. Para la programación se han usado

las utilidades que proporciona Digilent Inc. Estas aplicaciones se invocan desde el sistema operativo. Además, para maximizar la velocidad de acceso, se ha recodificado una de las utilidades proporcionadas por el fabricante para minimizar el tiempo de acceso/respuesta. Para programar este script se ha usado el lenguaje C por sus características de lenguaje de bajo nivel.

IV. INTERFAZ DE LA APLICACIÓN WEB

La interfaz del laboratorio remoto es muy simple y consta de pocas ventanas.

En la página de inicio de la aplicación aparece un mensaje de bienvenida junto con información sobre sus características y los beneficios que se pueden obtener de ser usada. Existen enlaces a la página de acceso a la aplicación (login), y a la de registro, en el caso de no poseer una cuenta en el sistema (Fig. 3).



Fig. 3. Ventana de inicio del laboratorio remoto.

La página de registro incluye un formulario para introducir los datos personales, así como un usuario, un email y una contraseña (Fig. 4).

Fig. 4. Ventana de registro del laboratorio remoto.

Una vez dentro de la aplicación, la página principal nos muestra una réplica de la placa de desarrollo Nexys 3 donde se han incorporado componentes gráficos para interactuar con sus periféricos (Fig. 5). Además, también se ha incluido una consola donde aparecen los mensajes que informan de los eventos que se producen durante la configuración de la FPGA o durante la validación de los diseños.



Fig. 5. Ventana principal del laboratorio remoto junto con la consola de mensajes.

Como ejemplo de la posibilidad de uso de periféricos virtuales conectados a los módulos de expansión de la FPGA, se incluye una captura de la pantalla principal donde aparece virtualizado un teclado hexadecimal (Fig. 6).

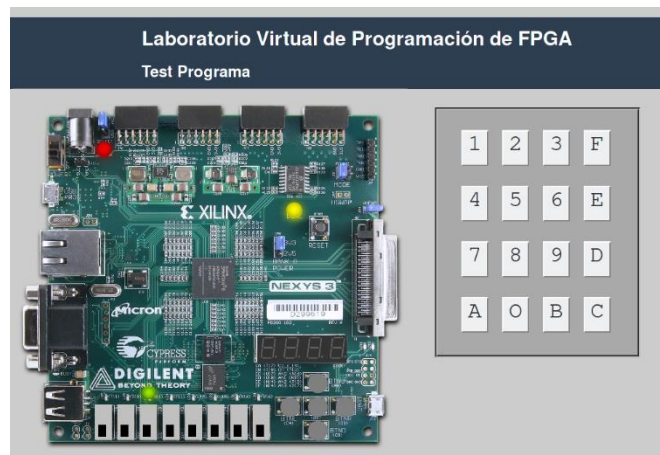


Fig. 6. Ventana principal del laboratorio remoto con periférico externo virtualizado (teclado hexadecimal).

V. FIRMWARE DE EMULACIÓN DE PERIFERICOS

Los distintos periféricos que pueden ser conectados a través de los módulos de expansión de la Nexys 3 (PMODs) son emulados mediante un microcontrolador en una placa Arduino. Dado que las FPGAs son dispositivos digitales, las señales de los módulos que se pueden conectar a los PMODs también lo son, por lo que pueden ser perfectamente emuladas por un microcontrolador. El servidor es el encargado de programar la placa Arduino con el firmware que simule al periférico seleccionado. Para ello, cada vez que se quiera añadir un nuevo periférico al catálogo, se deberá desarrollar tanto su control gráfico para la ventana de trabajo como su correspondiente firmware de emulación.

La Fig. 7 muestra el sistema de desarrollo Nexys 3 con el microcontrolador Arduino UNO conectado a uno de los conectores PMOD. En este caso, ha sido necesario un módulo de adaptación de tensiones de 5V (tensión de trabajo del

Arduino UNO) a 3.3V (tensión de trabajo de los módulos de expansión PMOD).

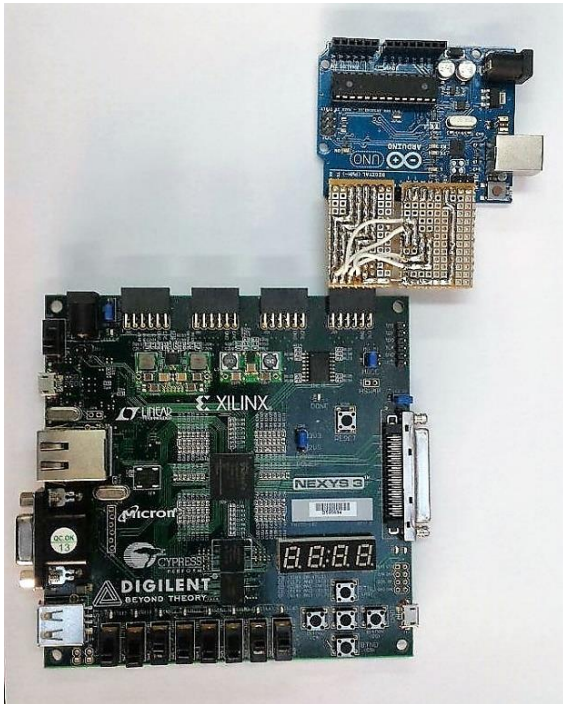


Fig. 7. Kit de desarrollo Nexys3 con Arduino UNO para la emulación de periféricos.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una aplicación web como herramienta para la docencia remota de prácticas de laboratorio en asignaturas de Electrónica Digital. La aplicación permite el acceso remoto a una placa de desarrollo basada en FPGA (Nexys 3), siendo posible actuar sobre sus periféricos para verificar el correcto funcionamiento de los diseños. Además, para demostrar la viabilidad de la emulación de posibles periféricos externos que pudiesen ser conectados a los conectores de expansión (PMODs) de la placa Nexys 3, un microcontrolador (Arduino UNO) emula el comportamiento de un teclado hexadecimal. La aplicación web del laboratorio remoto ha sido desarrollada a partir de software libre.

El sistema ofrece una gran ventaja a los estudiantes, ya que permite verificar sus diseños a distancia como paso previo a la evaluación de las prácticas. Por otro lado, desde el punto de vista docente, permite la generación de estadísticas de uso para evaluar el impacto de la experiencia. El desarrollo de este proyecto se está llevando a cabo mediante trabajos de fin de grado y de máster que desarrollan tanto el software del laboratorio remoto desde el punto de vista del servidor, como nuevos componentes hardware virtualizados.

El sistema se encuentra actualmente en su primera fase de implantación, por lo que está siendo usado por un grupo reducido de estudiantes con el fin de obtener información y estadísticas que permitan realizar un análisis detallado de la experiencia. Los factores que están siendo evaluados son: los tiempos de accesos al recurso y su adecuación a las necesidades de los clientes, el ancho de banda consumido, las posibilidades de escalado del sistema en función de la demanda y las limitaciones en la emulación de periféricos por parte del microcontrolador.

REFERENCIAS

- [1] H. H. Saliyah, M. Saad, H. Hassan, and I. de la Teja, "Virtually and remotely accessing and controlling laboratory real devices: a new trend in teaching and learning in engineering," in *Proceedings of the International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training*, 2000, pp. 107–114.
- [2] J. García Zubía, "Educational software for digital electronics: BOOLE-DEUSTO," in *Proceedings - 2003 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education: Educating Tomorrow's Microsystems Designers, MSE 2003*, 2003, pp. 20–22.
- [3] M. Reichenbach, M. Schmidt, B. Pfundt, and D. Fey, "A New Virtual Hardware Laboratory for Remote FPGA Experiments on Real Hardware," in *Proceedings of the 2011 International Conference on E-learning, E-business, Enterprise Information System E-Government (EEE)*, 2011, pp. 17–23.
- [4] UNED, "Entrada al laboratorio virtual." [Online]. Available: http://ohm.ieec.uned.es/fpga_lab/. [Accessed: 16-Mar-2020].
- [5] Universidad de Deusto, "WebLab-Deusto - Labs." [Online]. Available: <http://weblab.deusto.es/website/labs.html>. [Accessed: 16-Mar-2020].
- [6] "Nexys 3 Spartan-6 FPGA Trainer Board - Digilent." [Online]. Available: <https://store.digilentinc.com/nexys-3-spartan-6-fpga-trainer-board-limited-time-see-nexys4-ddr/>. [Accessed: 19-Jan-2020].
- [7] "Digilent Pmod Modules and Connectors - Interface with Development Boards." [Online]. Available: <https://store.digilentinc.com/pmod-modules-connectors/>. [Accessed: 21-Apr-2020].
- [8] "Arduino Due | Arduino Official Store." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-due>. [Accessed: 19-Jan-2020].

CompSim: Ambiente Integrado para Aprendizado e Projeto de Sistemas Computacionais Embarcados

Guilherme Álvaro Esmeraldo
LEDS/IFCE
Instituto Federal do Ceará
Crato, Brazil
guilhermealvaro@ifce.edu.br

Edson Barbosa Lisboa
LEA/IFS
Instituto Federal de Sergipe
Aracaju, Brazil
edson.lisboa@academico.ifs.edu.br

Mário Santos Sousa
NTI/UFCA
Universidade Federal do Cariri
Juazeiro do Norte, Brazil
mario.santos@ufca.edu.br

Cícero Samuel Mendes
LEDS/IFCE
Instituto Federal do Ceará
Crato, Brazil
mr.samuelmendes@gmail.com

Camila Valdez Ribeiro
LEA/IFS
Instituto Federal de Sergipe
Aracaju, Brazil
camila.ribeiro00@academico.ifs.edu.br

Luiz Fernando Morato
LEA/IFS
Instituto Federal de Sergipe
Aracaju, Brazil
luiz.morato0259@academico.ifs.edu.br

Lucas Fontes Cartaxo
LEDS/IFCE
Instituto Federal do Ceará
Crato, Brazil
lfonteesc@gmail.com

Pedro Silva dos Santos
LEA/IFS
Instituto Federal de Sergipe
Aracaju, Brazil
pedro.santos061@academico.ifs.edu.br

Milena Santos do Nascimento
LEA/IFS
Instituto Federal de Sergipe
Aracaju, Brazil
milena.nascimento068@academico.ifs.edu.br

Resumo—O estudo de sistemas computacionais abrange aspectos de hardware, software e o interfaceamento entre eles, com conteúdos complexos, o que pode tornar a aprendizagem difícil e desmotivante. Uma das soluções apresentadas pela literatura científica é o uso de simulação. Porém, o uso de simuladores abstratos no processo de ensino-aprendizagem é limitado e os projetos criados nessas ferramentas não constituem aplicações reais. Este trabalho apresenta o CompSim que alia simulação a interações com a plataforma aberta de prototipação Arduino e componentes eletrônicos de baixo custo para estabelecer cenários completos de projetos de sistemas computacionais embarcados reais.

Palavras-chave—ambiente integrado, simulador computacional, aprendizado prático, sistema embarcado

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um novo simulador, chamado de CompSim [1], que consiste de uma ferramenta gráfica de apoio ao aprendizado em projetos de sistemas computacionais embarcados. O simulador proposto possui componentes virtuais de hardware que podem ter seus comportamentos simulados, permite a programação do sistema em software de baixo nível e permite a interação do sistema simulado com dispositivos de hardware real. Com esse suporte de integração, o aprendizado em projetos de sistemas embarcados pode tornar-se mais atrativo e dinâmico, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de projetos de sistemas digitais físicos, estes com complexidades escaláveis de acordo com as necessidades do processo de ensino-aprendizagem e da metodologia adotada.

II. AMBIENTE E SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O ambiente CompSim consiste de um conjunto de ferramentas, com funcionalidades concebidas para dar suporte ao processo de ensino-aprendizagem em projetos de sistemas computacionais completos. Particularmente, concentra-se no aprendizado de conteúdos relacionados à arquitetura e organização de computadores, programação em baixo nível, subsistemas de entrada/saída e análise de desempenho de sistemas.

Na prática, esse ambiente permite simular a plataforma computacional ilustrada na Fig. 1. Essa plataforma de hardware virtual simulável, que é denominada por “Mandacaru”, inclui um processador conceitual (denominado “Cariri”), memórias cache e RAM, barramentos de sistema e de periféricos, e uma interface de periféricos, na qual é possível conectar diferentes periféricos virtuais, tais como teclado e vídeo, e reais, tal como uma plataforma aberta de prototipação Arduino [2] e plataformas compatíveis (como a Galileo Gen2 da Intel [3]).

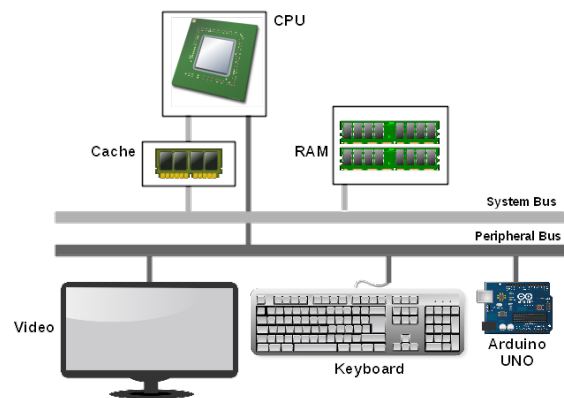


Fig.1 Plataforma de hardware simulável do CompSim.

O CompSim possui uma interface gráfica para apoiar: a configuração dos parâmetros da plataforma de hardware virtual; o auxílio na programação e avaliação da estrutura do programa, através de análises léxica, sintática e semântica, que será executada no processador da plataforma virtual; configuração, execução e visualização da simulação; bem como análise do desempenho do sistema.

Na Fig. 2, é possível observar a interface gráfica do CompSim e seus principais componentes gráficos, que são: A) Editor de Código; B) Processador; C) Memória RAM; D) Memória Cache; E) Buffer de vídeo; F) Buffer de teclado; G) Buffer de comunicação com Arduino; e H) Controles de configuração e execução de simulação.

A plataforma de hardware virtual Mandacaru pode ser criada, configurada e customizada com suporte dos painéis gráficos do ambiente CompSim. Assim, é possível, por exemplo, configurar a dimensão e números de blocos da memória RAM, as técnicas de mapeamento e políticas de substituição relativas à memória cache e configurar a porta de comunicação entre o sistema simulado e uma plataforma de prototipação de hardware real microcontrolada.

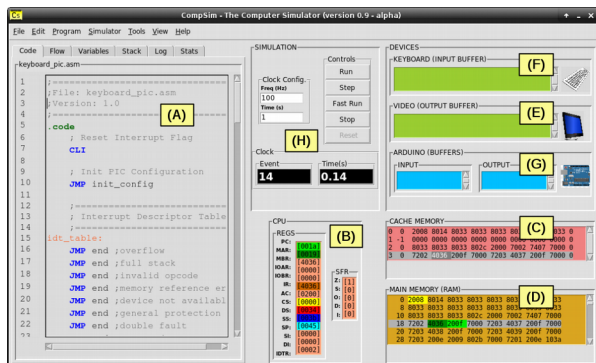


Fig. 2. Interface Gráfica do CompSim.

Através do painel “Editor de Código”, o usuário pode codificar o programa que será executado pelo processador Cariri da plataforma de hardware virtual. O editor inclui diferentes recursos que simplificam a escrita de programas em linguagem de baixo nível (*Assembly*), tais como: linhas de código numeradas, palavras-chave destacadas, recursos de pesquisa e substituição, copiar/colar, refazer/desfazer, além de um assistente de codificação para auxiliar no entendimento e no uso de cada uma das instruções do processador Cariri. O montador (*Assembler*) do CompSim realiza análises Léxicas, Sintáticas e Semânticas do código-fonte, destacando os locais do código com possíveis erros. Uma vez que o código é completamente validado, ele poderá ser, de forma automatizada, montado (transformado em *bytecodes*) e carregado na memória da plataforma virtual de hardware.

Após a criação, customização e programação da plataforma, o usuário pode proceder à fase de simulação. O ambiente provê recursos para configurar e gerenciar toda a simulação, além de possibilitar um processo dinâmico e com animações gráficas de cada passo executado pela plataforma em função do software em execução.

Durante a execução do sistema, no processo de simulação, o usuário pode interagir com a aplicação criada por meio dos dispositivos de entrada e saída virtuais: Teclado e Vídeo. Desta forma, é possível codificar programas que permitam entrada de dados pelo usuário, processamento e visualização dos resultados.

III. INTERAÇÃO COM HARDWARE REAL

A aplicação de ambientes de simulação no processo de ensino-aprendizagem é fundamental para viabilizar o estudo e o entendimento de determinadas áreas e conteúdos em sistemas computacionais [4]. No entanto, a manipulação de dispositivos de hardware real é fundamental para a consolidação e expansão do conhecimento em uma metodologia didático-pedagógica eficiente [5][6]. Desta forma, o ambiente CompSim inclui os seguintes recursos com o objetivo de suprir essas demandas pedagógicas: 1) integração de hardware real ao processo de simulação; 2) suporte para expansão dos tipos e quantidades de dispositivos de E/S, com técnicas e protocolos de comunicação diferentes;

e 3) possibilidade de coprocessamento entre simulação e execução em hardware real.

Esses recursos foram desenvolvidos através de uma solução integrada de hardware e software baseada em plataformas microcontroladas, compatíveis com a plataforma aberta de prototipação Arduino, de tal forma que o sistema simulado no CompSim possa interagir com os dispositivos desenvolvidos em hardware físico. A Fig. 3 ilustra dois cenários onde o simulador CompSim poderia, através de uma plataforma Galileo Gen 2 (compatível com Arduino), integrar-se a diferentes sistemas eletrônicos, tais como, no exemplo, tecnologias digitais convencionais que utilizam circuitos integrados TTL/CMOS e dispositivos eletrônicos reconfiguráveis (FPGA).

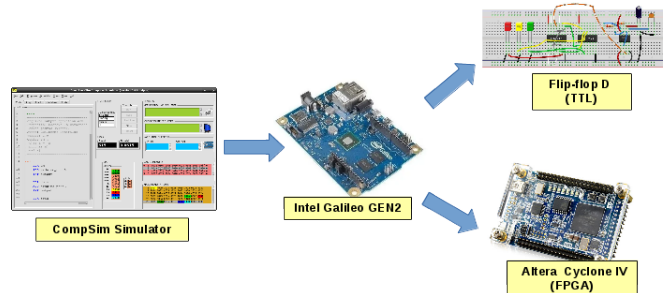


Fig. 3. Interação do CompSim com dispositivos eletrônicos reais.

IV. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O CompSim tem sido empregado em cursos técnicos e de graduação e em diferentes projetos de pesquisa, nas áreas de computação e eletrônica, nos Institutos Federais do Brasil, e é frequentemente avaliado com alto grau de satisfação, principalmente no apoio ao aprendizado prático dos conceitos envolvidos e na motivação dos estudantes por estudos avançados. A cada nova turma, os estudantes estão criando aplicações mais elaboradas, novos subsistemas de hardware e modelos robóticos com o ambiente CompSim. Esses resultados têm demonstrado um efetivo suporte educacional e de pesquisa integrada nas áreas de hardware e software.

Como trabalhos futuros, pretende-se adicionar novos recursos e funcionalidades aos componentes gráficos e de plataforma, integrar dispositivos de hardware real mais complexos, implementar a plataforma virtual Mandacaru em hardware, para dispor de um ambiente de projeto de hardware completo, bem como suportar sua programação com linguagem de alto nível (Linguagem C).

REFERÊNCIAS

- [1] CompSim (2019) “CompSim – The Computer Simulator”[Online]. Available: <http://compsim.crato.ifce.edu.br/>.
- [2] Arduino (2020) “What is Arduino?” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [3] Intel Galileo Gen2 (2020) “Placa Intel® Galileo Gen2 Product Specifications” [Online]. Available: <https://ark.intel.com/content/www/br/pt/ark/products/83137/intel-galileo-gen-2-board.html>.
- [4] S. R. Fernandes, I. S. Silva, “Relato de Experiência Interdisciplinar Usando MIPS,” *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, V. 6, n. 1. pp. 52-61, 2017.
- [5] M. Black, “Export to arduino: a tool to teach processor design on real hardware,” *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 31(6). pp. 21-26, 2016.
- [6] E. Larraza-Mendiluze, N. Garay-Vitoria, “Approaches and tools used to teach the computer input/output subsystem: A survey”. In *IEEE Transactions on Education*, 58(1), 2015. pp.1-6.

Uso de un laboratorio remoto de FPGAs para la realización de prácticas en grados de ingeniería

Susana Romero Yesa
Departamento de Tecnologías
Informáticas, Electrónicas y de la
Comunicación (Facultad de Ingeniería)
Universidad de Deusto
Bilbao, España
ORCID: 0000-0002-6378-4039

Javier García-Zubia
Departamento de Tecnologías
Informáticas, Electrónicas y de la
Comunicación (Facultad de Ingeniería)
Universidad de Deusto
Bilbao, España
zubia@deusto.es

José Luis Gutiérrez Temiño
Departamento de Tecnologías
Informáticas, Electrónicas y de la
Comunicación (Facultad de Ingeniería)
Universidad de Deusto
Bilbao, España
jose.luis.gutierrez@deusto.es

Javier Vicente Sáenz
Departamento de Tecnologías
Informáticas, Electrónicas y de la
Comunicación (Facultad de Ingeniería)
Universidad de Deusto
Bilbao, España
jvicente@deusto.es

Ignacio Angulo Martínez
Departamento de Tecnologías
Informáticas, Electrónicas y de la
Comunicación (Facultad de Ingeniería)
Universidad de Deusto
Bilbao, España
ignacio.angulo@deusto.es

Abstract— En la Universidad de Deusto se sigue un modelo de aprendizaje en todos sus grados consistente en cinco fases, dos de las cuales, experimentación y evaluación, tienen gran relevancia en los grados de ingeniería. Los laboratorios presenciales son así muy importantes para el desarrollo de competencias del alumnado, pero a veces resultan insuficientes, sobre todo en cuanto a disponibilidad de espacio y tiempo. Con objeto de resolver estos inconvenientes, así como de dar más coherencia a las prácticas de las asignaturas del área de electrónica, se presenta en esta comunicación una experiencia de uso de laboratorios remotos como complemento a los laboratorios tradicionales en asignaturas de 1º/2º del grado de informática. Se contextualizará la necesidad y se presentará tanto el laboratorio utilizado como el nuevo enfoque dado a las prácticas. Por último, se enunciarán los resultados obtenidos, así como los pasos previstos en próximos cursos.

Keywords— Laboratorios remotos, FPGA, VHDL, grados de ingeniería

I. INTRODUCCIÓN

Han pasado ya 20 años desde la entrada en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) con la Declaración de Bolonia [1]. Para su acomodo a los nuevos requerimientos se vio la necesidad de un cambio pedagógico y metodológico del modelo universitario, de modo que la Universidad de Deusto inició una transformación a nivel institucional que se materializó en el diseño de su Marco Pedagógico en 2001 [2], que a su vez se concreta en dos elementos clave: el Modelo de Formación (MFUD) y el Modelo de Aprendizaje (MAUD).

El MFUD se centra en la Universidad de Deusto como organización “que aprende y está centrada en el estudiante; que trabaja en equipo y valora la colaboración; que lidera y potencia al personal; y que se compromete ética y socialmente”[2]. Así, define cuatro características para conseguir favorecer el desarrollo de la autonomía y el aprendizaje significativo del estudiantado: los valores, las actitudes, las competencias y el modelo de aprendizaje.

A su vez, el MAUD toma como inspiración el modelo de Kolb [3] y la pedagogía ignaciana [4] para explicar cómo estudiantes de las diferentes titulaciones van a desarrollar sus competencias, entendiendo por persona competente a “aquella

que tiene los conocimientos necesarios, sabe ponerlos en práctica, está dispuesta a hacerlo, y cuando lo hace obtiene resultados adecuados” [2]. La conjunción de todos los elementos contribuye al aprendizaje integral y al desarrollo del alumnado como persona. Para concretar esta idea en el aula, propone la realización de ciclos de aprendizaje que, siguiendo una secuencia de fases, propicien la construcción del aprendizaje autónomo y significativo buscado. Cada ciclo está compuesto por las cinco fases que se presentan en la figura 1: el contexto experiencial, la observación reflexiva, la conceptualización, la experimentación activa y la evaluación [2].

Aunque para muchas asignaturas de las titulaciones de ingeniería estos conceptos no eran ajenos a la práctica habitual hasta entonces, en este momento había que volverlos explícitos: contextualizando los temas, competencias, contenidos... desde la experiencia previa de las y los estudiantes; ayudándoles en el cuestionamiento de preguntas y respuestas para ser partícipes de su propio aprendizaje; por supuesto, guiándoles en la adquisición de nuevos conocimientos (que era lo fundamental hasta la entrada de Bolonia), métodos, estrategias...; vinculando la teoría con la práctica para la aplicación de los contenidos de la fase anterior; y la evaluación pero en un sentido mucho más amplio que el empleado hasta el momento, considerando la propia autoevaluación del alumnado así como la evaluación formativa con su feedback como elementos clave de progreso, además de la más conocida evaluación sumativa.

En definitiva, los mayores cambios consistían en situar al alumnado como protagonista de su aprendizaje y vincular este con las competencias, en contraposición con solo conocimientos, que debían adquirir según el perfil académico profesional de su titulación. Según las competencias a desarrollar debían elegirse las estrategias de enseñanza-aprendizaje, las actividades, los contenidos y el sistema de evaluación.

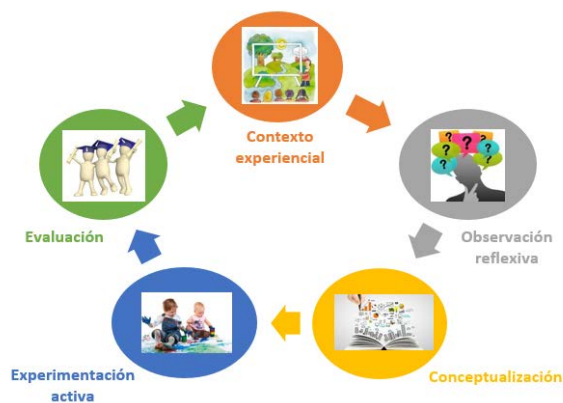


Fig. 1. Fases de los ciclos de aprendizaje según el MAUD.

Si bien este planteamiento es común para todas las asignaturas de todas las titulaciones de la Universidad de Deusto, en las titulaciones de ingeniería las dos últimas fases son de especial importancia y, a menudo, las que más problemas llevan consigo. Las asignaturas deben poseer una gran carga práctica para materializar lo visto en la fase de conceptualización y, en la fase de evaluación, las herramientas utilizadas deben estar vinculadas con las usadas durante la práctica, ya que las competencias a demostrar son las que se han adquirido por medio de la misma. Esto lleva consigo la necesidad de una utilización masiva de laboratorios, tanto en las clases contempladas en horario como en horas a disposición libre del alumnado, y que estos estén dotados del material más adecuado para el desarrollo de dicha práctica.

En esta comunicación se presenta el caso de una asignatura, Electrónica Digital (6 ECTS), en el Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Deusto, de primer y segundo curso (en doble titulación) con alrededor de 100 participantes por año. Se exponen las competencias a desarrollar y cómo se ha cambiado la estructura de las prácticas para atender a las necesidades expuestas, gracias al uso de un laboratorio remoto de FPGAs junto con los laboratorios tradicionales. Se ha aprovechado además para conseguir una mejora en la conexión con otras asignaturas.

II. CONTEXTO

La asignatura Electrónica Digital [5] pertenece al Grado en Ingeniería Informática y desarrolla la competencia perteneciente a la formación básica CE-FB-02 “Comprensión y dominio de los conceptos básicos de campos y ondas y electromagnetismo, teoría de circuitos eléctricos, circuitos electrónicos, principio físico de los semiconductores y familias lógicas, dispositivos electrónicos y fotónicos, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.”, recogida en las directrices de la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación del título universitario de ingeniero en informática.

Así, los ingenieros e ingenieras informáticas deben tener conocimiento específico de la caracterización de los sistemas digitales para desde esta base ser capaces de concebir y desarrollar sistemas o arquitecturas informáticas centralizadas o distribuidas integrando hardware, software y redes. Específicamente aborda: el diseño, análisis, codificación, implementación y medida de sistemas digitales.

En la asignatura de Electrónica Digital se tiene el primer contacto con la rama de conocimientos relativa a la Arquitectura y Tecnología de Computadores. Esta rama de conocimientos se complementa con las asignaturas de Estructura de Computadores (6 ECTS) y Arquitectura de Computadores (6 ECTS), formando un itinerario que conduce al estudiantado desde la puerta lógica, bloque básico en el diseño de un circuito digital, hasta el análisis detallado de las modernas arquitecturas en las que se basan los computadores de hoy en día. A su vez, Física (6 ECTS) proporciona al alumnado el recorrido necesario para asimilar las técnicas básicas en el diseño de circuitos electrónicos modernos.

Para ello la asignatura se concentra en el trabajo en dos competencias específicas:

- C.E.1. Codificar, analizar y diseñar sistemas digitales mediante técnicas propias de la Electrónica Digital.
- C.E.2. Implementar sistemas digitales y medir sus señales.

En esta comunicación se trata el desarrollo de la segunda, cuyo objetivo es llegar al “diseño, simulación, montaje, medidas y puesta en marcha de circuitos digitales mediante dispositivos lógicos programables”.

No obstante, es remarcable el carácter lineal seguido en la impartición de las asignaturas Electrónica Digital y Estructura de Computadores. Si bien en la primera, cursada en el primer semestre del primer curso, se analiza el funcionamiento de los principales bloques digitales, en la segunda, impartida en el semestre inmediato posterior, se utilizan dichos conocimientos para analizar las principales arquitecturas básicas e implementar un computador RISC.

Hasta el curso 2019-2020, aunque ambas asignaturas conseguían sus objetivos mediante sistemas VHDL, los planteados en las prácticas de Electrónica Digital, si bien servían de introducción estaban desligados de lo que más tarde habría que hacer en Estructura de Computadores. Del mismo modo, las herramientas utilizadas para el trabajo en VHDL eran diferentes: tarjetas hardware en el caso de Electrónica Digital y un simulador en el caso de Estructura de Computadores.

No obstante, metodológicamente, la densidad de contenidos incluidos en estas asignaturas y el carácter continuista de los mismos exigen el empleo de herramientas afines con el objetivo de optimizar los esfuerzos en la asimilación de las mismas. Parece más coherente una progresión en la dificultad de los sistemas digitales diseñados, pensados para llegar desde unos sistemas más básicos en Electrónica Digital, hasta un computador con unidad de control multiciclo capaz de emplear técnicas de segmentación, a que se quiere llegar en la asignatura de Estructura de Computadores. Así, el empleo de una metodología común en ambas asignaturas facilitaría la asimilación de las técnicas empleadas. Además, la complejidad de los lenguajes de descripción de hardware (HDL) se vería amortiguado por su asimilación progresiva, respondiendo a esta naturaleza lineal que comparten ambas asignaturas. Se desarrollarían los primeros sistemas en VHDL en Electrónica Digital, asimilando el flujo de trabajo requerido en el desarrollo de sistemas mediante dispositivos lógicos programables, y se iría

progresando en la complejidad de los mismos hasta ser capaces de implementar un computador completo en la asignatura de Estructura de Computadores.

De este modo, una tercera asignatura, Arquitectura y Tecnología de los Computadores, del curso siguiente, y que completa este itinerario, también se vería beneficiada por el cambio, al estar el alumnado mejor preparado. En esta última asignatura se trabajan temas avanzados que cubren la jerarquía de memoria, la gestión de entradas y salidas en un procesador avanzado y el procesamiento paralelo.

En el plan de estudios las competencias específicas estaban ya bien repartidas y secuenciadas entre las asignaturas, por lo que el reto era que también lo estuvieran las tecnologías y actividades empleadas para desarrollarlas. Teniendo en cuenta que en el área de electrónica se consideraba importante que el alumnado conociera a fondo tanto el trabajo en el laboratorio tradicional, como en los laboratorios remotos y el trabajo con simuladores, se determinó que el uso de laboratorios remotos en la asignatura Electrónica Digital era el cambio que podría tener un mayor impacto en la mejora de las prácticas. Ya en otras asignaturas de electrónica esos mismos docentes utilizaban un laboratorio remoto desde hace más de 10 años con muy buenos resultados [6].

De este modo, durante el primer semestre del curso 2019-2020 se realizaría una experiencia piloto introduciendo un laboratorio remoto en la asignatura de Electrónica Digital para desarrollar parte de una de las competencias específicas, y las prácticas en dicho laboratorio guardarían una estrecha relación con la teoría de la asignatura. Además, con un pequeño cambio en los enunciados de las prácticas, se podía conseguir orientarlas hacia conceptos que durante el segundo semestre iban a trabajar en la asignatura de Estructura de Computadores, lo cual, si bien no era el objetivo inicial, introducía ventajas adicionales y una mayor coherencia entre asignaturas.

Esto llevó a las siguientes decisiones:

- Disminuir el número de prácticas en el laboratorio tradicional con circuitos integrados.
- Aumentar el número de prácticas de diseño de circuitos digitales mediante dispositivos lógicos programables.
- Utilizar un laboratorio remoto de dispositivos lógicos programables.
- Orientar el enunciado de las prácticas hacia funciones que más tarde se usarán en otra asignatura.

III. DESCRIPCIÓN

A. El laboratorio remoto WebLab-FPGA

Para conseguir los objetivos expuestos anteriormente se decidió utilizar el laboratorio remoto WebLab-FPGA, desarrollado por la Universidad de Deusto y mejorado conjuntamente con la empresa LabsLand [7], pensado específicamente para las prácticas de varias asignaturas de ingeniería de la universidad.

Un laboratorio remoto es un laboratorio real al que se accede vía web, con las ventajas de estar disponible a cualquier hora todos los días de la semana. Esta disponibilidad relaja las condiciones de apertura del laboratorio clásico o normal, que en absoluto es eliminado de la formación del estudiante.

WebLab-FPGA es accesible desde la plataforma de aprendizaje de la asignatura, y por tanto el estudiantado lo hace sin necesidad de entrar en una página web distinta con un usuario/contraseña adicional al habitual. Es decir, el laboratorio remoto es un recurso más de la asignatura.

Una vez que se ha entrado en WebLab-FPGA, se accede a una FPGA disponible para completar la práctica. Cuando se trabaja de esta forma en el aula, esta situación puede generar una cola que se gestiona en modo FIFO, ya que cada estudiante tiene 3 minutos para completar la práctica, y al acabarla libera el recurso FPGA de manera que otro usuario puede entrar. Para relajar estas posibles colas, la estrategia más directa y potente supone replicar la FPGA varias veces, de manera que varias personas puedan ser atendidas simultáneamente. En este momento la Universidad de Deusto dispone de dos copias de FPGA y tiene en fase de despliegue cuatro más. La experiencia nos muestra que para unos 100 usuarios, dos copias de FPGA nunca han soportado colas de más de tres estudiantes.

Otra opción para evitar colas es federar experimentos remotos. En este caso, las diferentes copias de FPGA pueden haber sido desplegadas en distintas universidades, de manera que un estudiante de la Universidad de Deusto no solo pueda acceder a “su” FPGA, sino que también pueda hacerlo a las de otras universidades. De este modo el aprovechamiento de los recursos es mayor (por ejemplo si la FPGA se despliega en Iberoamérica, con otros horarios de utilización), lo cual además está alineado con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [8].

Además de lo anterior, el uso del laboratorio remoto por parte del alumnado se complementa con el uso de VIVADO de XILINX y de las FPGA del laboratorio tradicional. En este caso se debe instalar una plataforma, acción no sencilla (ocupa varias gigas y el menú es complejo), por lo que aunque por precio cabría la posibilidad de prestar las tarjetas para su uso fuera de aula, no es lo recomendable, con lo que el equipamiento físico se limita a los laboratorios de la universidad. La segunda razón para esto es que el manejo de dicha plataforma tampoco es sencillo, dando pie a muchos errores de proceso en estudiantes que empiezan, no atribuibles directamente a la competencia a desarrollar, por lo que es conveniente tener el apoyo docente durante su uso. Frente a esto, WebLab-FPGA simplifica la experiencia ya que integra en una sola web (Fig. 2) el entorno de desarrollo, síntesis y programación, y la FPGA Basys3 de Xilinx, de modo que se elimina la parte de instalación y solo se debe describir el sistema mediante VHDL, objetivo de las prácticas, quedando también el resto de acciones a cargo de WebLab-FPGA (gestionar el fichero de restricciones, gestión Synthesis-Implementation-Bitstream-Programming, etc.). El alumnado simplemente se centra en el VHDL y en la funcionalidad del sistema.

Así, una vez descrito el sistema, la prueba se realiza en la misma página del laboratorio remoto, ya que esta dispone de una interfaz manipulable por el usuario de modo que se puedan introducir datos y visualizar resultados en tiempo real (Fig. 3).

Esta simplificación del proceso no es buena desde nuestro punto de vista para estudiantes de cursos superiores, pero sí lo es para estudiantes de primero que simplemente deben aprender a describir hardware mediante VHDL y comprobarlo en una FPGA.

Así, la utilización del laboratorio remoto puede utilizarse de forma natural en las dos fases del MAUD objeto de mejora en este caso, la experimentación activa y la evaluación. Como conceptualización se explican los nuevos aspectos que se

quieren trabajar (estructura del programa, entrada de datos, visualización...), y con un primer programa dado como guía de lo expuesto los y las estudiantes pueden experimentar con el laboratorio remoto, tanto en el aula en las horas de prácticas como por su cuenta una vez terminadas las clases. En el momento de la evaluación, el mismo laboratorio puede servir de base para llevar a cabo una modificación sobre el programa origen, para ir comprobando poco a poco si se va adquiriendo la competencia y proporcionar feedback en caso contrario. La utilización de las mismas herramientas en las dos fases hace que haya coherencia entre lo que se experimenta y la forma en que es evaluada la competencia a adquirir, punto flojo en muchas prácticas de ingeniería.



Fig. 2. Vista del entorno para edición del programa en WebLab-FPGA.

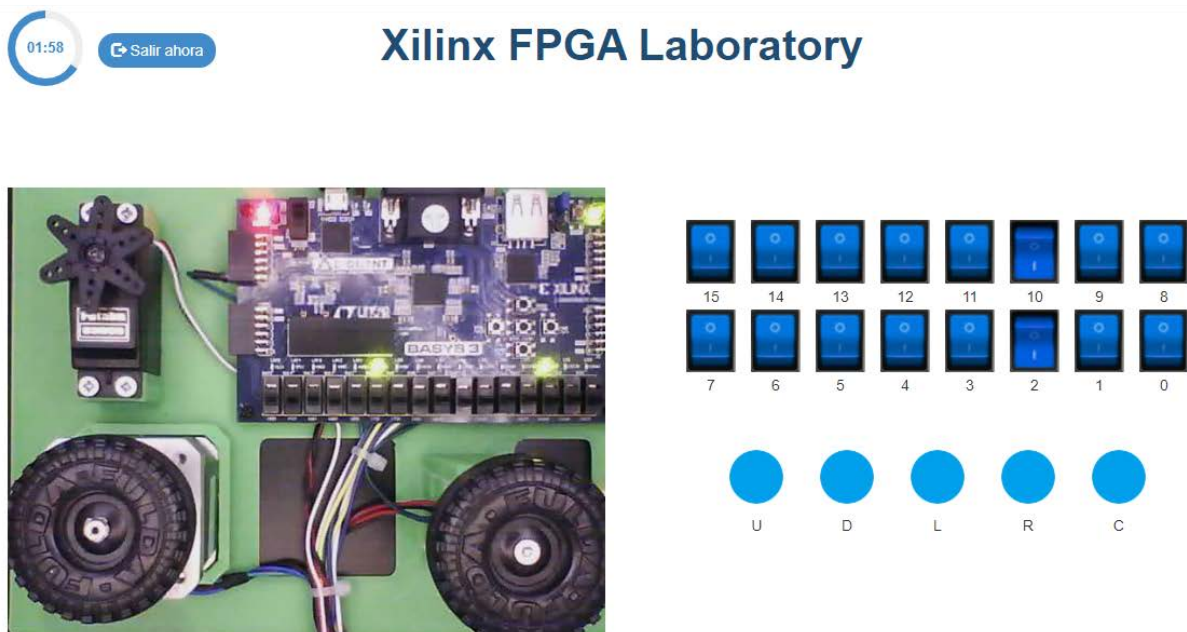


Fig. 3. Prueba del programa subido al laboratorio remoto.

B. La Máquina Sencilla

La bibliografía utilizada en la asignatura Estructura de Computadores [9] recoge la Máquina Sencilla como aplicación práctica de una parte de la teoría, de modo que en lugar de realizar las prácticas con enunciados aleatorios o no conexos, se decidió orientarlos hacia funciones.

La Máquina Sencilla es un procesador completo, cuyas características son las que se presentan en la Figura 4. Por tratarse de un procesador sencillo no implica lo farragoso de un procesador real, lo cual pudiera hacer que la densidad de información requerida para su entendimiento fuera tal que los y las alumnas se perdieran en su desarrollo. No obstante, es completo en cuanto a las instrucciones (transferencia, suma, comparación y salto condicional) y en cuanto a los modos de direccionamiento, que más tarde se usarán en dicha asignatura.

Así, resulta ideal para su introducción en una asignatura como Electrónica Digital, al servir de nexo de unión con los microprocesadores, ya que por su simpleza se entiende perfectamente como una ampliación de los conocimientos de esta asignatura.

Su implementación en VHDL, al no quedarse como algo teórico, hace que por una parte se entienda mejor su funcionamiento y, por otra, que los futuros y futuras informáticas puedan relacionar su experiencia en programación con los lenguajes de definición de hardware. En este mejor entendimiento tiene mucho que ver la utilización del laboratorio remoto WebLab-FPGA, ya que su programación permite de un modo muy fácil la introducción y visualización de los datos, así como la visión de lo que ocurre dentro de la máquina sencilla.

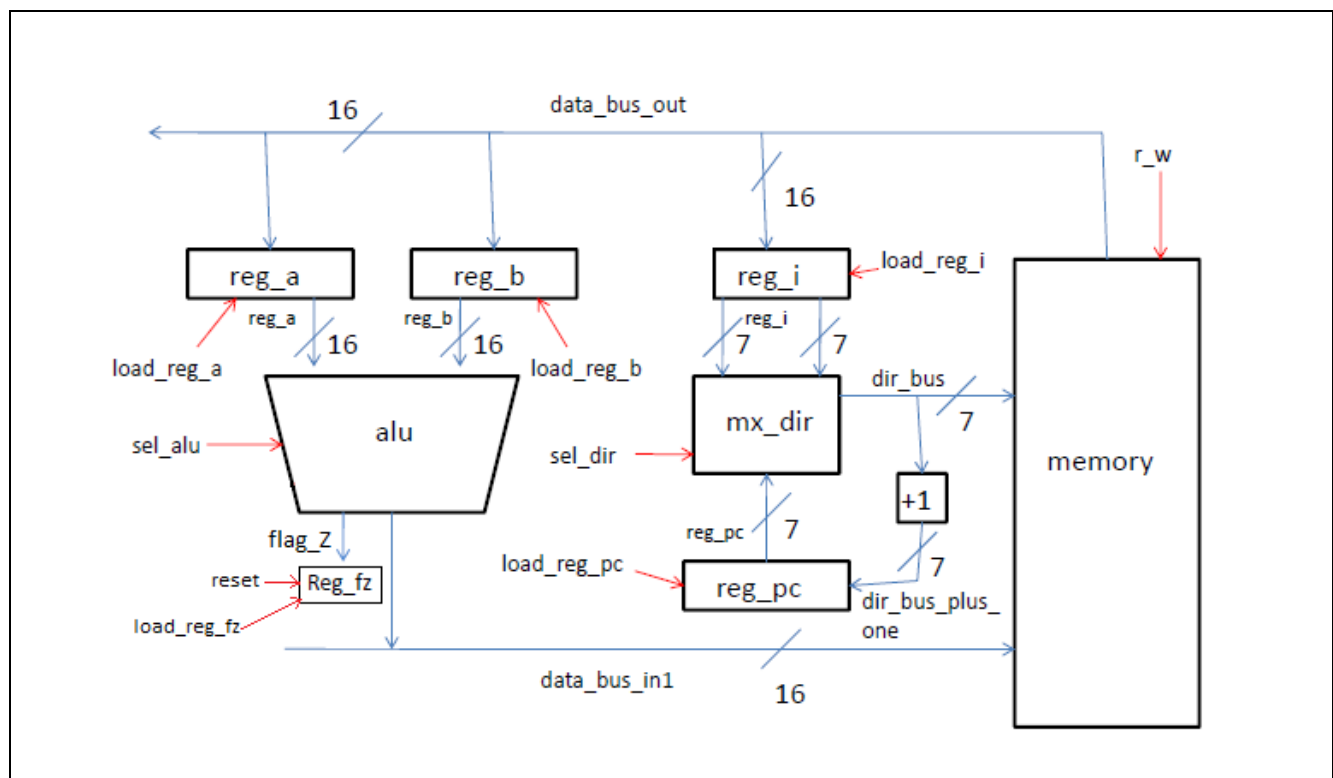
Posteriormente, en la asignatura Estructura de Computadores, la Máquina Sencilla es implementada en la parte práctica, donde se debe desarrollar el procesador por módulos y exponerlos mediante simulaciones ante el profesor como forma de evaluación. La principal dificultad que tiene el alumnado en esta parte es la interpretación de los cronogramas resultantes de la simulación de los bloques que componen la unidad de proceso y unidad de control. Con la introducción del laboratorio remoto para tener una primera aproximación al funcionamiento de la Máquina Sencilla, esperamos haber mejorado este hecho.

C. Estructura de las prácticas

El desarrollo de las nuevas prácticas se plantea como un diseño sucesivo de los bloques de la Máquina Sencilla, para finalizar con la integración de los mismos bajo su unidad de control.

Así, la implementación de la Máquina Sencilla se ha dividido en 4 prácticas, que son explicadas en el aula, para posteriormente ser probadas por el alumnado en otras tantas semanas:

- En una primera práctica el objetivo es familiarizarse con el laboratorio remoto WebLab-FPGA y con su entorno de desarrollo, así como con la estructura de los programas en VHDL.
- En la segunda práctica se deben implementar la Unidad Aritmético Lógica (ALU) y el flag Z.
- En la tercera práctica, al bloque anterior se suma el almacenamiento en registros (Fig. 5).
- Por último, se hace una práctica con contadores, que será el punto de partida para la asignatura de Estructura de Computadores el semestre siguiente.



- Bus de datos de 16 bits
- Bus de direcciones de 7 bits
- Memoria principal de 128 x 16 posiciones
- 4 instrucciones (MOV - ADD - CMP - BEQ)
- Arquitectura Von-Newman
- Registros de datos, ALU, registro PC, registro IR

Fig. 4. Características y esquema de la Máquina Sencilla simplificada (sin señales de clk).

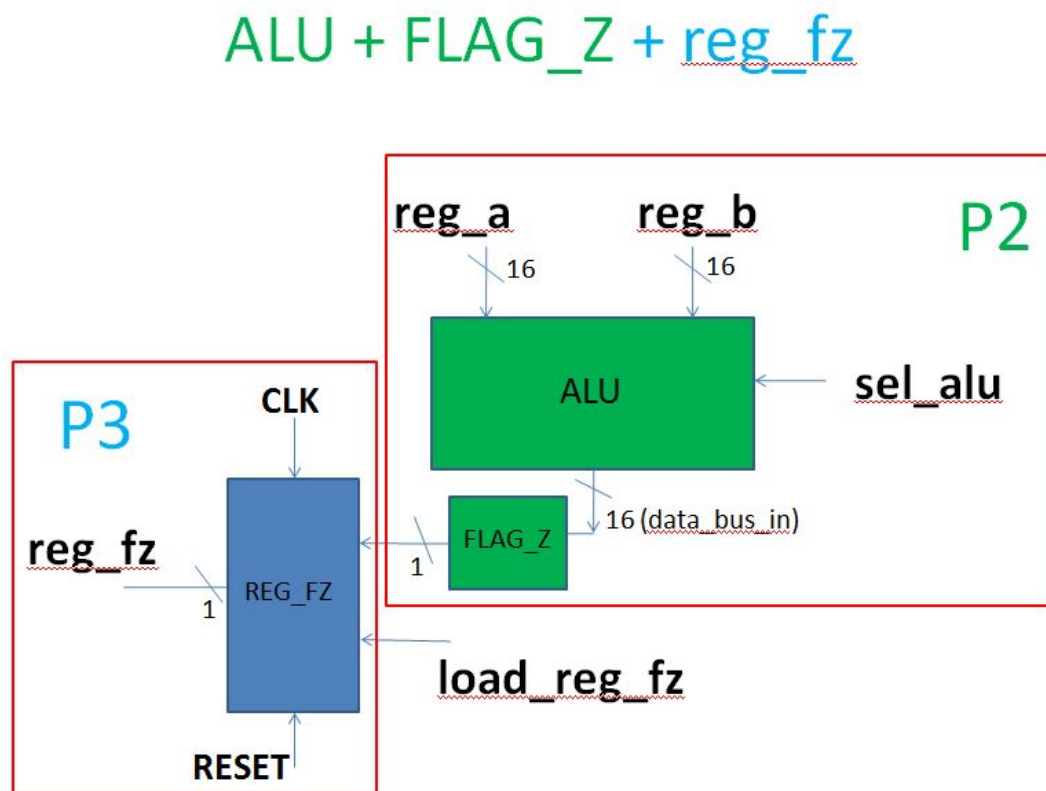


Fig. 5. Representación de los módulos que conforman las prácticas 2 y 3, a realizar en VHDL.

Como la prueba de los distintos módulos se realiza fuera de aula, para asegurar la adquisición de competencias se proporciona un programa base para comprender el funcionamiento, p.e. cómo se implementa el registro del flag Z, y durante el horario de prácticas se pide una modificación sobre este, p.e. añadir también registros para los datos A y B (Fig. 6).

Durante la prueba de las prácticas el alumnado puede consultar todas las dudas que les surja, y las modificaciones pedidas a realizar con el mismo laboratorio remoto se utilizarán a modo de evaluación sumativa, consiguiendo así además una coherencia entre las fases de experimentación y evaluación tal como se pretende con el MAUD.

3- A partir de la práctica vista en clase, diseña los siguientes registros con señal de carga por flanco ascendente y señal de reset. Los registros serán:

- Un registro que recogerá el valor del operando A, sw (3 downto 0);
- Un registro que recogerá el valor del operando B, sw (11 downto 8);
- Un registro que recogerá el valor de resultado del flag Z, led (0);
- Una señal común de LOAD, btnR;
- Una señal común de RESET, btnL;

Fig. 6. Muestra de enunciado de modificación sobre las prácticas probadas.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

Para conocer el impacto obtenido en esta práctica hay que observar los resultados desde diferentes aspectos.

Por una parte los objetivos conseguidos:

- Se han cambiado las prácticas: aumentando su número, orientándolas a enunciados de una asignatura posterior, y mejorando su inclusión en el modelo de aprendizaje de la universidad.
- Se ha utilizado un laboratorio remoto de dispositivos lógicos programables. Aunque la idea inicial era que sirviera de complemento al laboratorio tradicional, el alumnado, que ha tenido opción de usar uno u otro indistintamente, se ha decantado por el laboratorio remoto, aludiendo que era mucho más cómodo de utilizar, tanto por la disponibilidad como por la facilidad de uso. Esto nos hace pensar en la necesidad de implementar nuevas instancias del laboratorio remoto si se quiere incrementar su uso.
- Las nuevas prácticas se han orientado a la realización y prueba de los bloques de la Máquina Sencilla, de un modo cíclico, de tal forma que una práctica servía de base para la siguiente, a la cual se añadían nuevos conceptos.
- Asimismo, se ha mejorado la integración de esta parte de la asignatura en el modelo de aprendizaje de la universidad al permitir la experimentación y la evaluación con las mismas herramientas.

No obstante, también se han encontrado algunas dificultades:

- En las prácticas realizadas en cursos anteriores los conceptos a introducir eran relacionados en su gran mayoría con la electrónica. Aunque se necesitaban nociones de programación, eran fácilmente explicadas en el aula porque no se llegaban a conectar unas con otras: eran prácticas aisladas. En las nuevas prácticas, sobre todo como consecuencia de la nueva orientación de enunciados, hay que tener en cuenta que el alumnado está adquiriendo sus primeros conocimientos en lenguajes de programación, con mayor o menor éxito, y no sabe distinguir entre qué es un lenguaje de programación y qué es un lenguaje de descripción. Esto hace que el uso de sintaxis como “IF” o “WHEN” que se utilizan en la descripción funcional en VHDL, les lleve a confusión. Además, hay que sumar el poco dominio que sobre las estructuras de programación (condicionales, bucles...) así como del manejo de las estructuras de datos (variables de diferentes tipos, arrays...) tienen aún. En 2º de la doble titulación, donde ya se tiene Programación cursada y los conocimientos más asentados, la situación ha sido muy diferente. Esto ha hecho que algunos estudiantes de 1º se hayan sentido más de una vez frustrados, no por no entender los conceptos de electrónica, sino por no saberlos llevar a un programa.
- A pesar de las bondades de los laboratorios remotos, en algunas ocasiones se ha necesitado un “plan B”.

Por tratarse de un laboratorio que debe comprobar la corrección de un programa y asignar un tiempo para su prueba, la disponibilidad no ha sido siempre la mejor, sobre todo en el uso en clases, en que había al menos 40 parejas de usuarios accediendo al mismo tiempo. Aunque se disponía de placas Basys3 para usar indistintamente, la mayoría de estudiantes preferían esperar su turno, ya que la forma de estructurar el programa, variables, etc. además de los pasos a seguir, era diferente y más sencilla. Esta espera hacía que se perdiera tiempo de prueba en el laboratorio.

- Si se comparan los resultados académicos de las prácticas de este curso con respecto a los pasados, se puede destacar una mejora en el grado de consecución de la competencia buscada, aun teniendo en cuenta que la exigencia al ser prácticas dependientes entre sí era mayor. No obstante, el esfuerzo de algunos estudiantes también ha sido mucho mayor, por la influencia del añadido de la comprensión de Programación.

Haciendo un balance, y aunque los resultados son muy satisfactorios, el tiempo de prueba de esta metodología ha sido solo de un semestre, por lo que habrá que esperar a cursos siguientes para un contraste más exacto. Además, queda por conocer el alcance del cambio de enunciados al final del semestre del curso 2019-2020, cuando se tengan los resultados de la asignatura Estructura de Computadores, aunque con gran parte del segundo semestre cursado los profesores de las asignaturas ven ya muchas ventajas: el laboratorio remoto permitió el semestre pasado en Electrónica Digital, no depender del laboratorio de prácticas para la ejecución de las mismas, lo que facilita no ceñirse a unas horas y/o días determinados para realizarlas, compatibilizando mejor con otras labores docentes y teniendo una mejor gestión de los recursos. En el segundo semestre que ahora se desarrolla, en Estructura de Computadores, se puede además hacer mención de las prácticas anteriores y relacionarlas con las actuales, generando una sensación de continuidad que muchas veces se pierde al trabajar con las asignaturas como “competencias estanco”.

Parece además oportuno resaltar que este tipo de prácticas con laboratorios remotos tienen una gran potencialidad, al permitir seguir desarrollando las competencias de las asignaturas, dependiendo de su naturaleza, en situaciones como la de la actual pandemia que nos ha tocado vivir.

V. TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta las dificultades y oportunidades descritas en el apartado anterior, para el curso que viene se plantean las siguientes mejoras:

1) *La falta de conocimientos de programación* y con ello la confusión generada con los lenguajes de descripción pensamos que podría solventarse con la introducción de dos pasos previos:

a) Explicando primero VHDL desde el punto de vista del flujo de datos, en el que se describen asignaciones concurrentes de señales, alineándose con la asignatura desde los conceptos más básicos como el álgebra de Boole, donde

se explica cómo crear una tabla de verdad a partir de un enunciado y conseguir las expresiones simplificadas con Veitch-Karnaugh (Fig.7). Con esto se conseguiría, no solo la comprensión de qué es un lenguaje de descripción de hardware, sino que se pueda probar el resultado de los ejercicios teóricos de clase en el propio laboratorio remoto, familiarizándose a su vez con el entorno de desarrollo y con el proceso de síntesis y programación de la placa.

b) En una segunda fase se explicaría cómo crear circuitos más complejos partiendo de circuitos simples. Un ejemplo claro es crear un sumador de 4 bits utilizando 4 sumadores completos de un bit. El alumnado previamente ya habría implementado el sumador completo de 1 bit utilizando la estrategia de flujo de datos: en el nuevo paso tendría que declarar dicho sumador como un componente, instanciarlo 4 veces y definir las señales que interconectarán cada uno de los sumadores de 1 bit.

Una vez que ya se tiene claro qué es VHDL y para qué sirve se puede pasar a explicar cómo es la programación funcional en VHDL, en la que se describe cómo se tiene que comportar el circuito que se quiere diseñar y es el sintetizador el encargado de elaborar un circuito que cumpla lo indicado.

2) Como los y las estudiantes prefieren el *laboratorio remoto* al tradicional para el trabajo en VHDL, y dado el tiempo que requiere cada prueba, se ha decidido ampliar el número de instancias de prueba de modo que el tiempo de espera se reduzca aún más.

```
ENTITY sumador_completo IS
PORT (A, B , Cin: IN bit;
      S, Cout : OUT bit );
END sumador_completo;
architecture behavioral of sumador_completo is
begin
S <= A XOR B XOR Cin ;
Cout <= (A AND B) OR (Cin AND A) OR (Cin AND B);
end behavioral;
```

Fig. 7. Ejemplo sumador completo utilizando flujo de datos.

3) Una vez vistas las variables que pueden estar interviniendo en las competencias trabajadas, se preguntará por su percepción al alumnado, así como por su grado de satisfacción, de modo que sean parte activa y decisoria de su propio aprendizaje.

4) Se seguirá trabajando en Deusto por el *desarrollo de otros laboratorios remotos* como complemento a los tradicionales para dar cobertura a otras asignaturas de ingeniería que se pueden beneficiar de sus ventajas.

5) Se optará cada vez más por la *colegialidad docente* en las diferentes asignaturas para dotar de mayor coherencia a todas las ramas de conocimiento de la titulación.

6) Tras analizar el grado de impacto de la experiencia, cabe pensar que se pueda necesitar alguna *medida adicional* al analizar los resultados de la asignatura Estructura de Computadores sobre la que pensamos que las nuevas prácticas incidirán directamente.

REFERENCIAS

- [1] Declaración de Bolonia, 1999. <http://www.aneca.es/Actividad-internacional/Documentos-internacionales-de-referencia/Comunicados-de-los-ministros-europeos/Declaracion-de-Bolonia> (recuperado 13/3/2020).
- [2] Universidad de Deusto, "Marco pedagógico", Universidad de Deusto, Bilbao, 2001.
- [3] D. Kolb, The learning style inventory: technical manual. Mcber and Company, Boston, 1976.
- [4] E. Gil Coria, La pedagogía de los jesuitas, ayer y hoy. Universidad de Comillas. Madrid, 1999.
- [5] Programa de la asignatura Electrónica Digital, https://gaude.deusto.es/doa/consultaPublica/look%5bconpub%5dMosstrarPubGuiaDocAs?entradaPublica=true&idiomaPais=es.ES&_anoAcademico=2019&_codAsignatura=145303 (recuperado 13/3/2020).
- [6] J. García-Zubia et al., "Empirical analysis of the use of the VISIR remote lab in teaching analog electronics," IEEE Transactions on Education, vol. 60, no. 2, pp. 149-156, May 2017.
- [7] <https://labsland.com/es>
- [8] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (recuperado 26/4/2020).
- [9] J. García-Zubia, J.M. Angulo, I. Angulo, Fundamentos y estructura de computadores, Ed. Paraninfo, 2013.

Laboratório Portátil para o Estudo Prático em Engenharia de Computadores

Tiago Dias^{*†‡}, Pedro Sampaio^{*} e Pedro Miguens Matutino^{*†}

^{*}Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa – IPL

Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

[†]INESC-ID, Rua Alves Redol 9, 1000-029 Lisboa, Portugal

[‡]POLITEC&ID, Estrada de Benfica 529, 1549-020 Lisboa, Portugal

Email: tiago.dias@isel.pt, pedro.sampaio@isel.pt and pedro.miguens@isel.pt

Abstract — Sistemas Digitais e Arquitetura de Computadores continuam a ser unidades curriculares fundamentais nos planos de estudos dos cursos em Engenharia Informática e de Ciências da Computação, bem como da maioria dos cursos em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. No entanto, um problema bem conhecido prende-se com as dificuldades dos alunos em apreender muitos dos conceitos subjacentes, uma vez que a maioria deles ainda não adquiriram as competências lógicas ou formais de raciocínio para entender os níveis de abstração envolvidos. Estas limitações tornam mais difícil o processo de ensino e aprendizagem, acabando por ter um grande impacto na retenção de alunos e na sua motivação para continuar a trabalhar nestas áreas do saber.

Vários métodos de ensino e estratégias pedagógicas têm sido propostos para superar este problema. Isto inclui a abordagem clássica orientada à resolução de exercícios usando papel e lápis, bem como experiências mais práticas baseadas em atividades laboratoriais, o que é considerado por quase todos os estudos pedagógicos como a estratégia ideal para apoiar a aprendizagem. No entanto, a prática exigida para o ensino do hardware depende da disponibilidade de plataformas e ferramentas de desenvolvimento para apoiar as atividades laboratoriais.

Este artigo apresenta o sistema educacional μ LIC [1], desenvolvido no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), a escola de engenharia do Instituto Politécnico de Lisboa (IPL) em Portugal, com o propósito de oferecer aos alunos de Sistemas Digitais e de Arquitetura de Computadores uma plataforma de hardware bastante simples e intuitiva para a realização de exercícios de laboratório. No entanto, o sistema também pode ser utilizado noutras unidades curriculares relacionadas, como por exemplo Sistemas Embebidos ou Hardware / Software Co-Design, o que permite reduzir o tempo necessário para estudar os manuais de diversas placas e ferramentas de desenvolvimento. Desta forma, criam-se as condições necessárias para que o processo de ensino e aprendizagem se concentre no essencial, i.e. os conteúdos dos programas.

O sistema educacional μ LIC é composto pela placa de desenvolvimento μ LIC χ [2], quatro placas de expansão, uma biblioteca para suportar a interação de programas escritos na linguagem de programação Java com a placa μ LIC χ e a aplicação Programador USB de CPLD (eCUP), um software livre desenvolvido especificamente para a configuração de dispositivos CPLD. A placa μ LIC χ é uma plataforma hardware alimentada por USB que permite a prototipagem de projetos usando uma CPLD Xilinx XC95144XL. A placa inclui um circuito gerador de sinal de relógio, vários LED, um botão de pressão, portas paralelas de E/S de 8 bits e quatro conectores de expansão de uso geral, tolerantes a 5 V. As placas de expansão possibilitam a interação com dispositivos externos e, disponibilizam os componentes mais comumente utilizados em trabalhos de laboratório: botões de pressão e interruptores, LED, um mostrador LCD e memórias RAM e EPROM. O custo estimado de fabricação da placa μ LIC χ são 20 €, enquanto o das quatro placas de expansão são 18 €, o que torna o sistema extremamente competitivo. Esta vantagem é reforçada pelo seu tamanho reduzido e natureza portátil, pois estas características possibilitam que os alunos transportem consigo as placas, criando a oportunidade para realizarem os exercícios das aulas e outros pequenos projetos pessoais também fora do laboratório. Em ambiente escolar, o sistema μ LIC tem sido utilizado com grande sucesso desde 2017 em Laboratório de Informática e Computadores, uma unidade curricular do curso de Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores do ISEL [3].

Index Terms — Engenharia de computadores, tecnologia educativa, sistemas digitais e lógica programável.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Dias, “ μ LIC: micro Laboratory Infrastructure for the study of Computer Engineering.” ResearchGate.net. <https://www.researchgate.net/project/uLIC-micro-Laboratory-Infrastructure-for-the-study-of-Computer-Engineering> (acedido em 03/07/2020).
- [2] T. Dias, μ LIC χ Development Board – Reference Manual, ISEL – IPL, Lisbon, Portugal, Março 2017, https://www.researchgate.net/publication/338749880_uLIC-X_Development_Board_Reference_Manual.
- [3] P. M. Matutino, T. Dias, e P. Sampaio, “Teaching Hardware/Software Co-Design using a Project-Based Learning Strategy”, in 14th Conf. on Technology, Teaching and Learning of Electronics (TAAE), Porto, Portugal, Julho 2020.

Integración de Laboratorios Online en Entornos de Aprendizaje

Ildefonso Ruano Ruano

Group of Robotics, Automation and
Computer Vision (GRAV)

Universidad de Jaén

Jaén, Spain

alonso@ujaen.es orcid.org/0000-0002-
5940-016X

Elisabet Estévez Estévez

Group of Robotics, Automation and
Computer Vision (GRAV)

Universidad de Jaén

Jaén, Spain

eeestevez@ujaen.es orcid.org/0000-
0002-1721-3059

Alejandro Sánchez García

Group of Robotics, Automation and
Computer Vision (GRAV)

Universidad de Jaén

Jaén, Spain

asgarcia@ujaen.es orcid.org/0000-
0003-0404-306X

Javier Gámez García

Group of Robotics, Automation and
Computer Vision (GRAV)

Universidad de Jaén

Jaén, Spain

jggarcia@ujaen.es orcid.org/0000-
0001-9812-0139

Juan Gómez Ortega

Group of Robotics, Automation and
Computer Vision (GRAV)

Universidad de Jaén

Jaén, Spain

juango@ujaen.es orcid.org/0000-0002-
2827-2548

Abstract— Este trabajo trata la integración de laboratorios online en plataformas de aprendizaje. Hace especial hincapié en las ventajas pedagógicas que se pueden conseguir con esta integración, así como, los actores involucrados en la misma, principalmente estudiantes, profesorado y propietarios de laboratorios. También, se analizan las necesidades de cada rol y cómo pueden ser cubiertas por la integración. Para ello, son de gran la importancia el uso de estándares. Finalmente, se presenta un motor de corriente continua como ejemplo de integración de un laboratorio virtual online. Este laboratorio es integrado de diferentes formas tratando de seguir los estándares más extendidos. Además, se analizan las ventajas logradas en cada uno de los casos presentados.

Keywords— *e-learning, estándares de e-learning, laboratorio online, integración de sistemas, plataforma de aprendizaje*

I. INTRODUCTION

En todas las titulaciones y grados de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (CTIM, o más conocido como STEM, en inglés) el trabajo práctico es indispensable para que los alumnos consigan los conocimientos y habilidades requeridas en cada especialidad. Este trabajo se realiza habitualmente en laboratorios docentes, que suelen resultar muy costosos tanto en su puesta en marcha como en su mantenimiento, además de no ofrecer una disponibilidad temporal ni espacial muy amplia. Estos son sólo algunos de los motivos que han favorecido la aparición y proliferación de los laboratorios online en la educación universitaria de grados STEM, especialmente en Ingeniería. Los laboratorios online constituyen uno de los ejemplos más representativos del uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en la educación, aunque los elementos TIC más utilizados en este sector son las **plataformas de aprendizaje (Learning Management System -LMS)**. Este trabajo analiza y enumera las ventajas pedagógicas que aporta el integrar un laboratorio online con una plataforma de aprendizaje, con objeto de incentivar la integración de nuevos laboratorios.

En el proceso de integración se valorará el uso de estándares en distintas facetas. En concreto, este trabajo se centrará en estándares que: (1) permitan la creación de contenidos online, como SCORM (Sharable Content Object Reference Model) [1]; (2) ayuden a realizar la integración de

diferentes sistemas de aprendizaje, como LTI (Learning Tools Interoperability) [2]; (3) permitan intercambiar información de la ejecución de procesos de aprendizaje, como xAPI (Experience API o Tin can API) [3]; y que (4) faciliten la implementación de laboratorios online para educación, como el IEEE1876 (IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories) [4].

Por otro lado, se ha hecho uso del software Easy Java/JavaScript Simulations (EJSs) [5] para crear un laboratorio virtual que será utilizado como caso de uso para integrarlo en un LMS, utilizando diferentes modalidades y, en todos los casos, al menos uno de los estándares antes citados.

Como resultado de este trabajo se presentará una descripción de las ventajas que se pueden obtener en las diferentes implementaciones de la integración del laboratorio virtual en un entorno de aprendizaje, poniendo especial énfasis en aquellas que ayuden o faciliten el aprendizaje.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma; en el apartado II se presenta los roles implicados en la creación, mantenimiento y uso de laboratorios online integrados en una plataforma de aprendizaje y las ventajas que suponen esta integración para cada uno de ellos. El apartado III analiza algunos de los estándares de e-learning aplicables a los laboratorios online, permitiendo o facilitando su integración en Sistemas de Gestión de Aprendizaje. En el apartado IV se incluye un caso de estudio de integración de un laboratorio en un LMS. En concreto, se describen las adaptaciones aplicadas a un laboratorio virtual de motor Corriente Continua, creado con el software EJSs, para cumplir con algunos de los estándares comentados en el apartado anterior. Finalmente, el apartado V muestra las conclusiones obtenidas del trabajo realizado.

II. ROLES IMPLICADOS

En los procesos de creación, mantenimiento y uso de un laboratorio online integrado en un LMS existen una serie de actores que hay que tener en cuenta [4]. Estos son los: **estudiantes, profesores, propietarios de laboratorios y administradores de LMS**.

En los siguientes sub-apartados se va a analizar el papel que desempeña cada uno en la integración de un laboratorio online en plataformas de aprendizaje y las ventajas que les supone dicha integración.

A. Estudiantes

La participación de los estudiantes en la integración de los laboratorios online en los LMS se centra principalmente en el uso de los mismos una vez creados y, opcionalmente, en su validación desde el punto de vista de usuarios finales de los mismos. No se debe olvidar que los estudiantes son los actores más importantes en el proceso de la enseñanza práctica a través de laboratorios online, ya que se trata de los clientes receptores directos del aprendizaje.

Hoy en día, la plataforma LMS institucional de la organización en la que realizan sus estudios constituye la herramienta principal de su proceso de aprendizaje a través de Internet, ya sea en enseñanza totalmente virtual o como apoyo a la enseñanza presencial. Para ellos, los laboratorios online no son más que otro objeto dentro del catálogo de recursos de aprendizaje con el que tienen que tratar a lo largo de su carrera.

Lograr que los estudiantes disfruten de una experiencia de aprendizaje efectiva debe ser el objetivo más importante en todo momento. Esta **efectividad** se basa en la consecución de los objetivos de aprendizaje para los cuales fue diseñado el laboratorio. Existen muchos factores que influyen en la efectividad de una experiencia de aprendizaje y entre los mismos se encuentra el hecho de que se obtenga una integración de calidad entre el LMS y los laboratorios online. La integración entre un laboratorio online y el LMS será percibida como una integración de calidad por los estudiantes cuando puedan acceder fácilmente al mismo a través del LMS y no sean capaces de distinguir entre el uso del resto de recursos proporcionados por LMS y el laboratorio. En otras palabras, cuando puedan usar el laboratorio como otro recurso ofrecido por el LMS [6]. Además, existen otros muchos factores como son la capacidad de interactuar con compañeros y tutores; verificar/validar los resultados de laboratorio y consultar la calificación final obtenida. Otro factor esencial a considerar como un indicador de calidad de integración es la capacidad de personalizar la ejecución del laboratorio. Es decir, que el laboratorio permita adaptarse a las preferencias y/o necesidades del usuario, por ejemplo, tamaño de fuente visualizado, idioma, uso de subtítulos o volumen de sonido. Según la legislación actual, este factor debe considerarse esencial, ya que proporciona acceso al grupo de estudiantes con algún tipo de discapacidad (lenguaje, visión, audición ...).

En resumen, los requisitos principales para considerar una integración de calidad Lab-LMS, desde el punto de vista de los estudiantes, son los siguientes:

- Acceso al laboratorio desde el LMS y desde diferentes tipos de dispositivos.
- Aspecto/Formato similar al LMS.
- Personalización de la ejecución del laboratorio que además posibilite el acceso pleno de estudiantes con discapacidades.
- Retroalimentación del laboratorio en el LMS, capacidad de consultar el trabajo realizado, los resultados obtenidos y la calificación final, preferiblemente instantánea o tras el uso del laboratorio.

- Comunicación con compañeros y tutores, este punto suele ser cubierto por herramientas que suelen proporcionar el propio LMS (foros, chats, aulas virtuales, etc.).

B. Profesorado

El profesorado es el rol que participa en más procesos relacionados con la puesta en marcha de un laboratorio online integrado en una plataforma de aprendizaje. Está presente desde el primer momento, en el que a partir del plan de estudios del curso decide los objetivos docentes que debe cubrir un laboratorio, las competencias y objetivos de aprendizaje que deben obtener los estudiantes que trabajen en el mismo. Sin embargo, su labor no acaba ahí, en muchos casos participa activamente en el diseño y creación, que vienen determinados por los objetivos marcados. Una vez el laboratorio está creado, su integración de calidad con un LMS puede aportar una serie de ventajas cubran sus necesidades y faciliten su uso, en el cual también participan activamente como tutores y facilitadores de la experiencia de aprendizaje del alumno.

Por estos motivos, para cuantificar la calidad de la integración Lab-LMS, los profesores evalúan otros factores. Además de los mencionados en la sección anterior, uno de los más importantes es la posibilidad de proporcionar **identificación** para aquellos estudiantes que realicen las tareas prácticas. Este requisito es esencial para los tutores porque les permite tener conocimiento sobre el trabajo realizado por los estudiantes individualmente, pero también ofrece la posibilidad de ejecutar un laboratorio personalizado para cada estudiante. En otras palabras, permite a los tutores presentar prácticas personalizadas. Otros factores que también se consideran son: la facilidad para integrar un nuevo laboratorio en línea en el espacio de trabajo de aprendizaje virtual; la posibilidad de relacionar el laboratorio con el resto de recursos ofrecidos por el propio LMS; la facilidad de evaluar el trabajo realizado por el alumno y la calificación final de cada alumno de forma automática, entre otros.

En conclusión, los requisitos que determinan si un profesor considera que la integración de un laboratorio online en un LMS es de calidad son los siguientes:

- Identificación de alumnos.
- Ejecución personalizada de las experiencias de aprendizaje. Es indispensable cumplir el requisito anterior (identificación de estudiantes).
- Facilidad para integrar un nuevo laboratorio online en el espacio de trabajo de aprendizaje virtual.
- Posibilidad de establecer secuencias de aprendizaje en las que se puedan usar otros objetos de aprendizaje del LMS además del laboratorio.
- Evaluación automática de las experiencias de laboratorio.
- Accesibilidad a trabajos terminados, resultados obtenidos y calificaciones finales para cada estudiante.
- Comunicaciones con el estudiante, al igual que ocurre con los estudiantes, este punto suele ser cubierto por herramientas que suelen proporcionar el propio LMS.

C. Propietarios de Laboratorios

En esta categoría se encuentran actores con un perfil más técnico y/o comercial, abarca a roles muy diversos, programadores de software de laboratorio, instituciones y/o plataformas de soporte de laboratorios online. No es un rol uniforme que permita definirlo de forma homogénea ya que existen muchas posibilidades dependiendo de cada caso en particular. Comprende desde el profesor que decide establecer un laboratorio online para su asignatura y crea su laboratorio conforme a sus criterios, pasando por la institución que tiene una unidad de creación y gestión de laboratorios online, hasta un Sistema de Gestión de Laboratorios privado o integrado por distintas instituciones que pueden compartir sus laboratorios, alquilarlos o incluso venderlos.

En cualquiera de los casos, cuando tratan la integración de sus laboratorios online en un LMS tienen unos requisitos que quieren cumplir. A pesar de la variabilidad encontrada, todos ellos tienen bastantes elementos en común como es (1) el mantenimiento de las tecnologías y los sistemas con los que ya estén trabajando. Esto es así porque el know-how les permite reducir costes en desarrollo, mantenimiento y gestión. Otro de los requisitos que suelen compartir es (2) el uso de estándares que les permitan facilitar la integración en múltiples sistemas y situaciones. Además de esto suelen (3) evitar el uso de soluciones dedicadas a no ser que ya estén desarrolladas y contrastadas y no les suponga nuevos desarrollos. Resumiendo:

- Uso de tecnologías utilizadas en sus sistemas.
- Uso de estándares compatibles con sus sistemas.
- Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.

D. Administradores de plataforma de aprendizaje

La labor realizada por los administradores de plataformas de aprendizaje relacionados con la integración de los laboratorios online está relacionada con una de los siguientes puntos:

1) *Instalación local del laboratorio.* Facilitan la instalación y uso en el LMS del propio software del laboratorio o de un elemento contenedor del mismo, en ambos casos el software se encuentra en el LMS.

2) *Instalación externa del laboratorio.* Facilitan la instalación y uso en el LMS de recursos que suministran acceso al software del laboratorio, ubicado en una localización externa.

3) *Instalación de recursos auxiliares del laboratorio.* Facilitan la instalación y uso en el LMS de recursos necesarios para el funcionamiento del laboratorio online, como pueden ser sistemas de reservas en laboratorios remotos de sistemas reales, sistemas de comunicación adicionales o sistemas de monitorización y registro de acciones y resultados relacionados con el trabajo realizado por los alumnos en el laboratorio online.

En cualquier caso, los requerimientos que interesan a los administradores de plataformas de e-learning relacionados con la integración de los laboratorios online en sus LMS coinciden con los indicados para los propietarios de laboratorios, aplicados en este caso al LMS, es decir:

1. Uso de tecnologías utilizadas en el LMS.
2. Uso de estándares compatibles con el LMS.

3. Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.

III. ESTÁNDARES DE E-LEARNING APLICABLES EN LA INTEGRACIÓN LABORATORIOS ONLINE-LMS

En el ámbito tecnológico, el objetivo de los estándares es establecer normas que permitan el entendimiento y la colaboración entre sistemas. Este es el objetivo también de los estándares tecnológicos de e-learning, aunque referido siempre a sistemas relacionados con la educación. Existen múltiples organismos [7] que se basan en diferentes categorías para establecer una estandarización en el proceso educativo [8]: Accesibilidad, Arquitectura, Calidad, Competencias, Contenidos y Evaluación, Derechos digitales, Información del alumno, Interactividad, Metadatos, Proceso de Aprendizaje, Repositorios y Vocabulario y Lenguajes.

Los estándares más populares y extendidos relacionados con la interactividad y arquitectura que permiten o facilitan la integración de contenidos educativos de tipo laboratorio online en plataformas de aprendizaje son SCORM, xAPI y LTI. Por otro lado, recientemente ha aparecido un estándar aún no muy utilizado, pero directamente relacionado con la integración de laboratorios online y plataformas de aprendizaje, el estándar IEEE 1876-2019.

La utilización de los estándares antes referenciados no evita ni sustituye la aplicación de otros estándares que faciliten la adaptabilidad del laboratorio al estudiante y a sus necesidades particulares, de forma que facilite la accesibilidad de todas las personas. En este sentido, ya que los laboratorios online son software accesible a través de Internet, deberían tener en cuenta estándares como EN 301 549 V1.1.2 (2015-04) [9], que describen requisitos de accesibilidad adecuados para productos y servicios TIC.

En los siguientes sub-apartados se va a explicar brevemente la funcionalidad de cada uno de estos estándares, así como las de otros estándares más genéricos de la web, pero bastante relacionados con la integración de laboratorios online en plataformas de aprendizaje.

A. SCORM

Se trata de una especificación compuesta creada por la iniciativa ADL (Advanced Distributed Learning) [10] de la secretaria de defensa de los Estados Unidos de América. El estándar SCORM incluye indicaciones para crear y empaquetar contenidos de e-learning, posibilidades de comunicación entre el contenido (mediante funciones de comunicación) y el LMS en el que está alojado el paquete para intercambiar datos (basado en un vocabulario propio) y, finalmente, indicaciones para establecer la secuenciación y navegación entre los componentes educativos incluidos. Existen varias versiones de SCORM. La última es SCORM 2004 4th edition, fue publicada en el año 2009 e incluye 3 sub-especificaciones:

- SCORM CAM (Content Aggregation Model). Describe como crear contenidos de aprendizaje en el formato SCORM, los tipos de componentes que lo forman y el modo de empaquetar se para ser utilizados por las plataformas de aprendizaje compatibles.
- SCORM RTE (Run-Time Environment). Describe el modelo de datos de SCORM y el uso de la API de ejecución, un interfaz basado en JavaScript que permite establecer comunicaciones entre el contenido

SCORM y la plataforma de aprendizaje que lo aloja, normalmente un LMS.

- SCORM SN (Sequencing and Navigation). Describe como definir e interpretar la secuenciación de los recursos de aprendizaje que componen un paquete SCORM.

La aplicación del estándar SCORM en laboratorios online no es nuevo, desde el año 2007 se pueden encontrar trabajos que propone su uso para integrarlos en LMS [11] [12], aunque las implementaciones reales no se produjeron hasta algunos años más tarde [13]-[15], logrando obtener integraciones avanzadas con el uso intensivo de SCORM RTE para intercambiar datos entre el LMS y el laboratorio [16] [17]. Como se muestra en la Fig. 1, en estos trabajos se usa un paquete SCORM como un contenedor en el que, entre otros recursos de aprendizaje (Learning Objects o LO), se incluye un laboratorio online. De esta forma el usuario de la plataforma de aprendizaje, normalmente un LMS, utiliza el laboratorio online directamente tras acceder al módulo SCORM ubicado en su espacio virtual entre el resto de recursos docentes (LO) del LMS. Cuando la integración es avanzada el propio software del laboratorio online es capaz de intercambiar datos de aprendizaje con la base de datos del LMS.

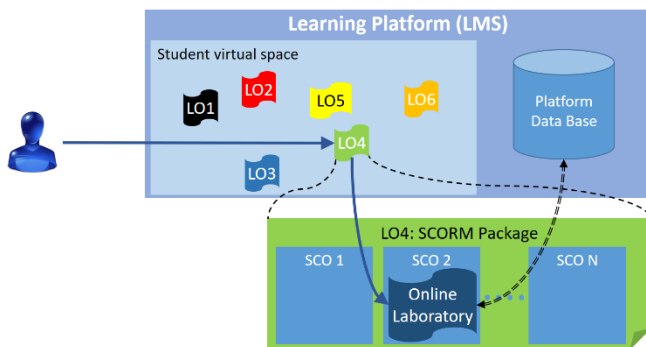


Fig. 1. Ejemplo de uso de SCORM para integrar laboratorio en LMS

B. xAPI

El estándar Experience API, también llamado xAPI o Tin Can API es una especificación gestionada también por ADL que surgió como una evolución de SCORM. El objetivo era solucionar algunos de los problemas propios de SCORM. xAPI es un estándar que permite establecer comunicaciones bidireccionales entre contenidos de aprendizaje y plataformas de aprendizaje para registrar y monitorizar todos los tipos de experiencias de aprendizaje. Una de las mejoras que presenta respecto a SCORM es la posibilidad de registrar experiencias de aprendizaje realizadas desde casi cualquier origen (aplicación web, simulación, aplicaciones móviles, laboratorios online, juegos, ...) sin estar limitado a un origen web.

La Fig. 2 muestra un esquema que ayuda a entender el funcionamiento de xAPI, para almacenar las experiencias de aprendizaje se hace uso de un sistema de almacenamiento llamado LRS (Learning Record Store) que puede existir de forma independiente a los LMS (ILIAS, Canvas, Moodle, Blackboard, ...) y herramientas de presentación de informes o integrado en un LMS.

Existen algunos trabajos que utilizan el estándar xAPI para almacenar en un LMS datos de uso de laboratorio online [18] -[20].

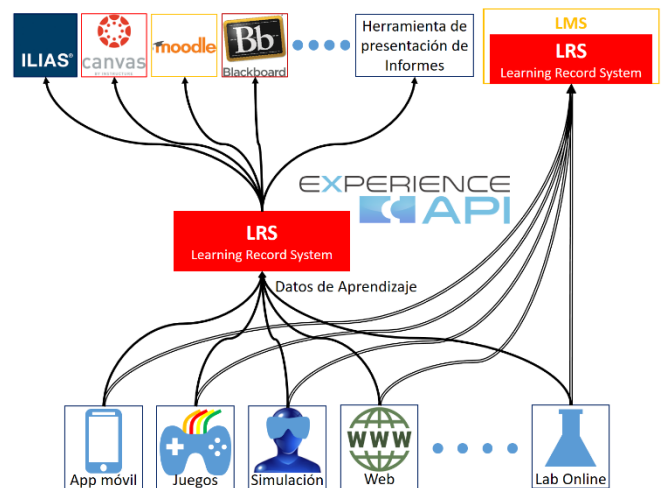


Fig. 2. Esquema ejemplo de funcionamiento del estándar xAPI.

C. LTI

LTI es un estándar desarrollado por el IMS Global Learning Consortium (IMS) [21] cuyo objetivo es la integración entre aplicaciones de aprendizaje enriquecidas con plataformas de aprendizaje. Las aplicaciones, o herramientas de aprendizaje pueden haber sido creadas por cualquier empresa y método, y alojadas remotamente a las plataformas de aprendizaje, entre las cuales pueden ser LMSs, portales Web, repositorios de objetos de aprendizaje o cualquier otro entorno.

La terminología LTI usa la siguiente denominación:

- Herramienta (Tool): aplicación de aprendizaje enriquecida.
- Proveedor de herramientas (Tool Provider): Sistemas que proporcionan las herramientas.
- Consumidores de herramientas (Tool Consumer): Sistemas que consumen las herramientas externas proporcionadas por los Tool providers, habitualmente son LMSs, aunque puede ser cualquier tipo de plataforma de e-learning o portales Web.

Como muestra la Fig. 3, el uso más común de LTI se produce cuando un LMS (Tool Consumer) lo usa para ofrecer a sus usuarios contenidos externos a la plataforma en forma de contenidos que aparentemente están ubicados en el LMS. Cuando un usuario accede a un elemento LTI del LMS, el LMS usa el estándar LTI para lanzar una herramienta (Tool) ubicada en un servidor externo (Tool Provider) que puede ser utilizada por el usuario. Se puede producir un intercambio de información entre el LMS y la herramienta utilizada.



Fig. 3. Esquema ejemplo del uso del estándar LTI.

Existen múltiples versiones de LTI que no han llevado una evolución secuencial directa y continua, de hecho, se recomienda que se implemente la última especificación (LTI Advantage) dejando aparte algunas de las versiones publicadas (LTI v1.2 y LTI 2.0), como muestra la Fig.4.

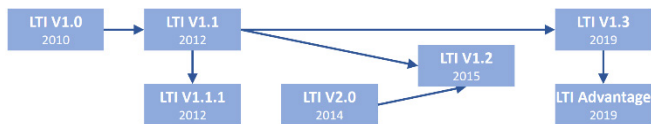


Fig. 4. Versiones del estándar LTI.

Son bastante numerosos los trabajos que han hecho uso de este estándar para proporcionar acceso y compartir laboratorios online externos [22]-[25].

D. Estándar IEEE 1876-2019

El estándar IEEE 1876-2019 (IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories) fue publicado en el año 2019 por el IEEE. Establece relaciones entre los componentes utilizados en un laboratorio online y los entornos de aprendizaje con el fin de facilitar el diseño, implementación y uso de prácticas de laboratorio con objetivos docentes en laboratorios online, así como, su integración en entornos y repositorios de aprendizaje online. Para ello, se basa en la estandarización de los laboratorios online como servicio (LaaS), este concepto fue utilizado por primera vez en el año 2013 [26]. Este estándar considera los laboratorios online como objetos de aprendizaje (Learning Object o LO [27]) inteligentes cuya integración con las plataformas se ajustan a un modelo de varias capas. Concretamente, distinguen 4 niveles conceptuales como se muestra en la Fig.5 y se resumen a continuación:

- **Nivel 0.** Hardware y software, depende de la instancia particular de cada laboratorio. No está incluido en la definición del estándar IEEE 1876 pero reconoce que existen una serie de señales que interactúan con el siguiente nivel en ambos sentidos.
- **Nivel 1.** LaaS, define el laboratorio online dentro del contexto LaaS. Especifica requisitos que debe cumplir la interface de un laboratorio que se quiera ajustar al estándar.
- **Nivel 2.** LO, describe un laboratorio online como un recurso más de los ofrecidos por las diferentes plataformas de aprendizaje (MOOCs, LMSs, etc.). Los laboratorios online deben ofrecerse en un contexto docente como un objeto de aprendizaje con contenido pedagógico. Con este fin, este nivel describe recomendaciones prácticas para usar los laboratorios online.
- **Nivel 3.** Plataformas de aprendizaje (MOOC, LMS, repositorios, etc.), usadas para acceder a los LO (laboratorios online) del nivel 2. Al igual que ocurre con el nivel 0, debido a la gran variedad de productos de este tipo existentes y posibilidades de implementación que se pueden encontrar, tampoco se define en el estándar.

Al tratarse del estándar publicado más recientemente [28] hace que no se hayan encontrado en la literatura muchos trabajos que lo referencien [29], [30].

E. Web Protocols

La configuración típica de un laboratorio online (remotos, virtuales o híbridos) requiere el uso de un protocolo de comunicación entre el experimento de laboratorio y los usuarios. Como indica el estándar IEEE-1876, se recomienda utilizar protocolos web estandarizados para proporcionar la transferencia de datos entre el laboratorio y los clientes

externos. Los más utilizados están basados en HTTP y WebSockets:

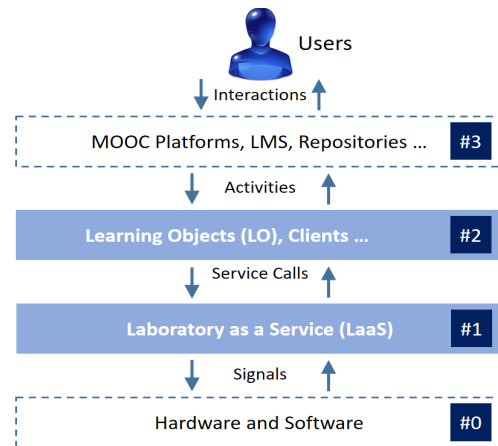


Fig. 5. Niveles aclaratorios del estándar IEEE-1876-2019.

1) *Servicios basados en HTTP:* existen diferentes tipos como SOAP y REST. El problema es que la mayoría son síncronos y siguen un esquema de solicitud-respuesta. En estos casos, los datos a menudo solo pueden obtenerse del servidor, sin embargo, el servidor no puede iniciar un “envío” de información a los clientes (tecnología de envío). Los experimentos de laboratorio online pueden requerir una transferencia de datos asíncrona. Por ejemplo, si el experimento tarda un tiempo largo y desconocido en completarse no puede enviar los resultados a los clientes usando soluciones basadas en HTTP de forma eficiente, sólo se podría hacer usando métodos síncronos subyacentes, como sondeo largo.

2) *WebSockets:* son asíncronos por naturaleza y permiten que la comunicación sea iniciada por el cliente o el servidor (tecnología push & pull). Esto proporciona un canal de comunicación bidireccional full-duplex entre servidor y cliente. Actualmente, todos los navegadores modernos admiten WebSockets. Dado que WebSockets permite usar tecnología push & pull de manera eficiente y con menos esfuerzo de programación que, por ejemplo, REST y SOAP, se recomienda utilizar WebSockets como protocolo para este tipo de servicios.

IV. EJEMPLO: INTEGRACIÓN DE LABORATORIO VIRTUAL DE MOTOR CC EN LMS

Utilizando el software EJS se ha creado una simulación JavaScript del control de un motor CC (sistema de segundo orden, donde se caracteriza la evolución de la posición ante una tensión continua a la entrada). Este laboratorio es de gran interés para las asignaturas en los Grados de Ingeniería Industrial relacionadas con el control automático.

Se han preparado 3 experimentos que consisten en lo siguiente:

- **Controlador P:** Control de la posición angular del Motor CC, cálculo de la constante proporcional (K_P) cuando el sistema está críticamente amortiguado (apartado 1).
- **Controlador PD:** Control de la posición del Motor CC con restricciones temporales, cálculo de las constantes proporcional (K_P) y derivativa (K_D)

cuando se cumple el criterio de cancelación cero-polo y se quiere alcanzar la posición de referencia con un tiempo de establecimiento al 2% o 5% (apartado 2).

- Controlador PI: Control de la velocidad angular del Motor CC con restricciones temporales, cálculo de las constantes proporcional (K_p) e integral (K_i) cuando se cumple el criterio de cancelación cero-polo y se quiere alcanzar la velocidad de referencia sin ningún error (apartado 3).

La Fig.6 muestra una captura de pantalla del interfaz en el que debe trabajar el alumno en el apartado 1, accesible en <https://weblab.ujaen.es/access/NIM-MIM/PID2018js.xhtml>.

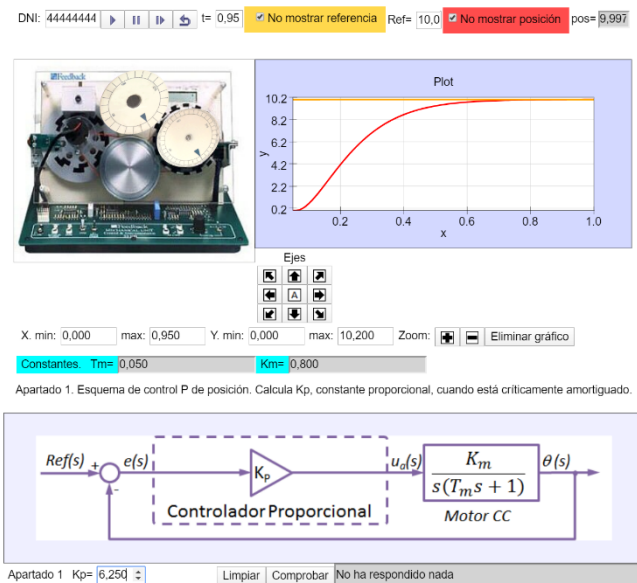


Fig. 6. Interfaz de usuario del Lab Virtual de Motor CC (Apartado 1).

Las constantes K_m , ganancia estática, y T_m , constante de tiempo, que determinan el comportamiento del modelo del motor CC, vienen determinadas por un parámetro que puede particularizarse de forma automática readaptando el código o introducirse manualmente (DNI en Fig.6). Otra de las características es que el laboratorio realiza una evaluación automática en cada una de las 3 prácticas en función de los resultados introducidos por el alumno y calcula una evaluación final que son mostradas por el interfaz conforme son obtenidas por los estudiantes.

Los siguientes sub-apartados describen brevemente las acciones que habría que realizar para adaptar el software de este laboratorio para ser integrado en un LMS utilizando algunos de los estándares descritos en el apartado III y las posibilidades de cumplir con los requisitos de los roles mostrados en el apartado II.

A. Integración con SCORM

El mismo software EJS con el que fue creada la simulación de control de un motor CC ofrece la posibilidad de exportarla en forma de paquete SCORM [31]. Este paquete SCORM puede ser importado en cualquier LMS compatible, entre los cuales se encuentra prácticamente la totalidad del mercado. El módulo SCORM, una vez insertado en el LMS incluye en su interior el laboratorio online virtual. De este modo se obtiene una integración como la mostrada en la Fig.1. Antes de realizar la exportación existe la posibilidad de adaptar el código utilizando la sub-especificación SCORM-

RTE [32] para intercambiar datos entre LMS y simulación, aunque siempre restringidos al modelo de datos de SCORM. De este modo, al ejecutarse la simulación en el LMS se podrían producir acciones como las mostradas en los siguientes ejemplos:

- El laboratorio podría obtener la identificación del alumno del propio LMS y usarla en su ejecución (p.e. mensajes, funcionamiento adaptado y ejecución de experimentos personalizados).
- El laboratorio podría almacenar en el LMS las preferencias del alumno, los resultados de los experimentos realizados por cada alumno (interacciones SCORM) y la calificación final.

B. Integración con LTI

El software EJS permite empaquetar la simulación en un fichero comprimido en formato Zip, el cual, una vez descomprimido, genera una estructura de carpetas y archivos. Entre ellos se encuentra uno en formato HTML que incluye una llamada a una función JavaScript que constituye el laboratorio virtual.

Hay que editar este código para hacerlo compatible con LTI. Para ello, se pueden usar las librerías [33] y modelos [34] gratuitos de PHP. Una vez adaptado, se deberá ubicar como una herramienta de un proveedor de herramientas LTI, el cual en el fondo no deja de ser un servidor web. Una vez logrado, para integrarlo en un LMS habrá que crear, en un LMS compatible, un objeto LTI. Este objeto LTI debe ser configurado para que cuando se utilice se conecte con el proveedor de herramientas y ejecute (lanzar) el laboratorio. De este modo se habrá obtenido una integración como la mostrada en la Fig.3.

Al igual que en el caso de SCORM, existe la posibilidad de adaptar el código del laboratorio para intercambiar datos entre LMS y simulación, aunque en este caso restringidos al ámbito de LTI. De este modo, al ejecutarse la simulación se podrían producir, no solo las acciones mostradas en los siguientes ejemplos de SCORM, si no muchas más, ya que al estar ubicado en un servidor externo se puede utilizar una base de datos para proporcionar a los usuarios del LMS toda la información que se desee.

C. Integración con LTI y xAPI

Se ha querido incluir este último ejemplo con el fin de incluir el estándar xAPI y mostrar la posibilidad de combinarlo con otro de los ya mostrados, algo que ya se ha tratado en otros trabajos [19], [20]. Para conseguir la integración del laboratorio de motor CC con LTI y xAPI se debe partir del código de laboratorio adaptado para LTI indicado en el apartado IV.C y volverlo a adaptar para que se puedan generar las sentencias xAPI que almacenan los datos de aprendizaje del trabajo del alumno en un LRS (Learning Record System). El LRS puede ser un sistema independiente o estar siendo implementado por el mismo LMS como muestra la Fig.7.

Esta solución ofrece más flexibilidad, permitiendo cumplir con los requisitos de todos los roles, aunque su implementación resulta más complicada y costosa.

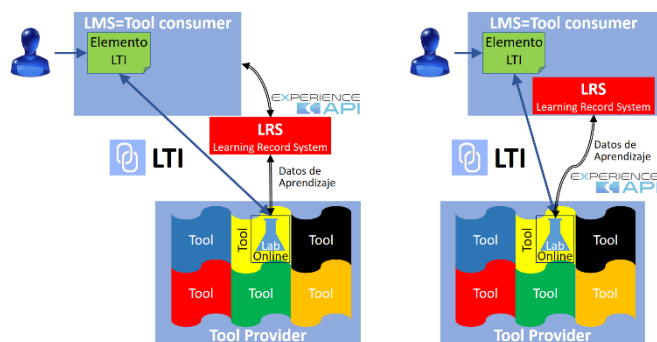


Fig. 7. Ejemplos de integración de laboratorio en LMS con LTI y xAPI.

V. CONCLUSIONES

El trabajo ha presentado la integración de laboratorios online en plataformas de aprendizaje, haciendo especial hincapié en los requisitos pedagógicos demandados por los diferentes actores involucrados. La Tabla I resume los requisitos de los distintos roles analizados.

TABLE I. ROLES Y REQUISITOS PARA INTEGRACIÓN LAB-LMS

ROL	Requisitos de Integración Lab-LMS
Estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a Lab desde LMS (diferentes dispositivos). • Aspecto/Formato similar al LMS. • Personalización de la ejecución del laboratorio y acceso pleno de estudiantes con discapacidades. • Retroalimentación del laboratorio en el LMS. • Comunicación con compañeros y tutores.
Profesores	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de alumnos. • Ejecución en entorno docente personalizado. • Facilidad de integración de nuevos Labs. • Secuencias de aprendizaje con otros recursos. • Evaluación automática. • Accesibilidad a trabajos terminados, resultados obtenidos y calificaciones finales. • Comunicaciones con estudiantes.
Propietarios de Laboratorios	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de tecnologías utilizadas en sus sistemas. • Uso de estándares compatibles con sus sistemas. • Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.
Administradores de LMS	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de tecnologías utilizadas en el LMS. • Uso de estándares compatibles con el LMS. • Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.

La siguiente tabla (Tabla II) muestra la posibilidad de facilitar la consecución de los diferentes requisitos incluidos en la tabla I que presentan los estándares analizados en este artículo.

Por otro lado, también se ha analizado cómo dar soporte a dichos requisitos a través del uso de estándares tecnológicos de e-learning: SCORM, xAPI, LTI e IEEE 1876-2019. Así mismo, se han indicado las pautas para seguir para integrar un laboratorio online de un motor de corriente continua, emulado en EjsS, tratando de seguir los estándares más extendidos analizando las ventajas logradas en cada uno de los casos presentados. Los autores concluyen que, para el ejemplo mostrado la integración a través de SCORM es la más fácil de obtener, menos coste de trabajo de programación, pero tiene como limitación que debe estar en Web (LMS). Por otro lado, LTI es más flexible que SCORM pero más costosa en programación y requiere un servidor externo. xAPI logra objetivo de su creación, superar limitación de ejecución en web, puede utilizarse desde cualquier dispositivo o medio, pero requiere LRS si LMS no lo incluye. Por tanto, como conclusión final, los 3 ejemplos cumplen la mayoría de requisitos de los 4 roles, dependiendo de conocimiento y trabajo previo interesará más una u otra solución.

TABLE II. REQUISITOS FACILITADOS POR ESTÁNDARES

Requisitos de Integración Lab-LMS	SCORM	xAPI	LTI	IEEE
E1. Acceso a Lab desde LMS (diferentes dispositivos).	SiD	SiD	SiD	SiD
E2. Aspecto/Formato similar al LMS.	-	-	-	-
E3. Personalización de la ejecución del Lab y acceso pleno de estudiantes con discapacidades.	SiD	SiD	SiD	SiD
E4. Retroalimentación del Lab en el LMS.	SiD	SiD	SiD	SiD
E5. Comunicación con compañeros y tutores.	-	-	-	-
P1. Identificación de alumnos.	Sí	SiD	SiD	SiD
P2. Ejecución en entorno docente personalizado.	SiD	SiD	SiD	SiD
P3. Facilidad de integración de nuevos Labs.	SiD	SiD	SiD	SiD
P4. Secuencias de aprendizaje con otros recursos.	Sí	Sí	Sí	Sí
P5. Evaluación automática.	SiD	SiD	SiD	-
P6. Accesibilidad a trabajos terminados, resultados obtenidos y calificaciones finales.	P	Sí	Sí	Sí
P7. Comunicaciones con estudiantes.	-	-	-	-
L1. Uso de tecnologías utilizadas en sus sistemas.	SiD	SiD	SiD	-
L2. Uso de estándares compatibles con sus sistemas.	SiD	SiD	SiD	-
L3. Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.	Sí	Sí	Sí	Sí
A1. Uso de tecnologías utilizadas en el LMS.	SiD	SiD	SiD	SiD
A2. Uso de estándares compatibles con el LMS.	SiD	SiD	SiD	SiD
A3. Evitar nuevas soluciones dedicadas o propietarias.	Sí	Sí	Sí	Sí

El significado de los elementos utilizados se describe a continuación:

- **SiD** (Sí, pero depende): Utilizar el estándar permite cumplir la consecución del requisito correspondiente pero no lo asegura ya que depende de otros factores (p.e. E1. El uso del estándar facilita la inclusión del Lab en un LMS y con ello la consecución del requisito, aunque depende de que el LMS y el GUI del Lab sea multidispositivo).
- **-**: El uso del estándar no afecta a la consecución del requisito correspondiente (p.e. E2. El uso del estándar no afecta al aspecto/formato del Lab, que depende totalmente del diseño y estilo usados en su programación).
- **P** (Parcial): El uso del estándar facilita la consecución parcial del requisito indicado (p.e. P6. El uso del estándar puede facilitar acceder a algunos de los datos de los trabajos terminados, pero no a todos los tipos de datos).
- **Sí**: Utilizar el estándar permite cumplir la consecución del requisito correspondiente (p.e. L3. El uso del estándar elimina la necesidad de usar soluciones dedicadas o propietarias Lab y con ello la consecución del requisito).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado el proyecto PIMED01-201921 y el proyecto DPI2016-78290-R.

REFERENCES

- [1] Advanced Distributed Learning (ADL), "SCORM 2004 4th Ed. (Shared Content Object reference model)", 2009. [Online]. Available: <https://www.adlnet.gov/adl-research/scorm/scorm-2004-4th-edition/>. [Accessed: 21-Jun-2016].
- [2] IMS Global Learning Consortium, "Learning Tools Interoperability

- (LTI) v2.0", 2014. [Online]. Available: <https://www.imsglobal.org/specs/litv2p0>. [Accessed: 21-Jul-2016].
- [3] Advanced Distributed Learning (ADL), "Experience API", 2013. [Online]. Available: <https://www.adlnet.gov/adl-research/performance-tracking-analysis/experience-api/>. [Accessed: 12-Aug-2016].
 - [4] W. G. IEEE P1876, IEEE Std 1876-2019: IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories. IEEE Education Society, 2019.
 - [5] F. Esquembre, "Easy Java Simulations: a software tool to create scientific simulations in Java", *Comput. Phys. Commun.*, vol. 156, no. 2, pp. 199–204, Jan. 2004.
 - [6] M. a. Bochicchio and A. Longo, "Delivering Collaborative Web Labs as a Service for Engineering Education", *Int. J. Online Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 4–10, May 2012.
 - [7] A. Bakhoui, R. Dehbi, M. T. Lti, and O. Hajoui, "Evolution of standardization and interoperability on E-learning systems: An overview", in 2017 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2017, pp. 1–8.
 - [8] A. Berlanga Reyes, B. Fernández Manjón, I. Martínez Ortiz, P. Moreno Ger, and J. L. Sierra Rodríguez, "Estándares en e-learning y diseño educativo", 2011.
 - [9] European Telecommunications Standards Institute, "ETSI EN 301 549 - V1.1.2 - Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe," vol. 2, pp. 1–134, 2015..
 - [10] A. D. L. (ADL), "Advanced Distributed Learning (ADL)". [Online]. Available: <https://www.adlnet.gov/>. [Accessed: 28-Jul-2016].
 - [11] B. Ozdogru and N. E. Cagiltay, "How Content Management Problem of a Remote Laboratory System can be handled by integrating an open source learning management system? Problems and solutions", in 2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007, pp. 1–5.
 - [12] L. Gomes and S. Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories", *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 56, no. 12, pp. 4744–4756, 2009.
 - [13] E. Sancristobal Ruiz, M. Castro, J. Harward, P. Baley, K. DeLong, and J. Hardison, "Integration view of Web Labs and Learning Management Systems", in IEEE EDUCON 2010 Conference, 2010, vol. 81, pp. 1409–1417.
 - [14] V. Mateos, A. Gallardo, and T. Richter, "LiLa Booking System: Architecture and Conceptual Model of a Rig Booking System for On-Line Laboratories", *Int. J. Online Eng.*, vol. 7, no. 4, 2011.
 - [15] T. Richter, Y. Tetour, and D. Boehringer, "Library of Labs - A European Project on the Dissemination of Remote Experiments and Virtual Laboratories", in 2011 IEEE International Symposium on Multimedia, 2011, pp. 543–548.
 - [16] I. Ruano, P. Cano, J. Gamez, and J. Gomez, "Advanced LMS Integration of SCORM Web Laboratories", *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6352–6363, 2016.
 - [17] I. Ruano-Ruano, J. Gamez, S. Dormido, and J. Gomez, "A Methodology to Obtain Learning Effective Laboratories with Learning Management System Integration", *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 391–399, 2016.
 - [18] H. Wuttke, M. Hamann, and K. Henke, "Integration of remote and virtual laboratories in the educational process", in Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2015, vol. 11, no. February, pp. 157–162.
 - [19] L. F. Zapata Rivera and M. M. Larrondo Petrie, "Models of Collaborative Remote Laboratories and Integration with Learning Environments", *Int. J. Online Eng.*, vol. 12, no. 09, p. 14, Sep. 2016.
 - [20] L. F. Z. Rivera, M. M. Larrondo-Petrie, and L. Ribeiro Da Silva, "Implementation of cloud-based smart adaptive remote laboratories for education", in 2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2017, vol. 2017-Octob, pp. 1–5.
 - [21] IMS Global Learning Consortium (IMS), "IMS Global Learning Consortium (IMS)". [Online]. Available: <https://www.imsglobal.org/>. [Accessed: 21-Jun-2019].
 - [22] F. Schauer et al., "REMLABNET IV – LTI Federated Remote Laboratory Management System with Embedded Multiparameter Simulations", *Int. J. Online Eng.*, vol. 13, no. 10, p. 103, Nov. 2017.
 - [23] C. Salzmann, W. Halimi, D. Gillet, and S. Govaerts, "Deploying Large-Scale Online Labs with Smart Devices", in Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education, Springer Link, 2018, pp. 43–78.
 - [24] P. Orduna et al., "Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols", in 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2013, pp. 1372–1378.
 - [25] F. Garcia-Loro et al., "Spreading Remote Laboratory Scope through a Federation of Nodes: VISIR Case", *IEEE Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, pp. 1–1, 2019.
 - [26] M. S. Tawfik Abuelela, "Laboratory as a Service (LaaS): a Paradigm for Developing and Implementing Modular Remote Laboratories", Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), 2013.
 - [27] I. L. T. S. Committee, 1484.12.1.IEEE Standard for Learning Object Metadata, vol. 2004. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002.
 - [28] M. Tawfik et al., "Laboratory as a service (LaaS): A novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories", *Int. J. Online Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 13–21, 2014.
 - [29] L. F. Z. Rivera and M. M. Larrondo-Petrie, "Design of a Latin American and Caribbean remote laboratories network", in 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2016, pp. 1–5.
 - [30] M. Tawfik et al., "Online Experiments With DC/DC Converters Using the VISIR Remote Laboratory", *IEEE Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, vol. 10, no. 4, pp. 310–318, Nov. 2015.
 - [31] I. R. Ruano, E. E. Estévez, F. E. Martínez, and J. G. García, "Pautas para la integración portable de aplicaciones EjsS en Sistemas de Gestión de Aprendizaje", in XXXIX JORNADAS DE AUTOMÁTICA, 2018, pp. 135–144.
 - [32] Advanced Distributed Learning (ADL), "Run-Time Environment (RTE) SCORM 2004 4th Ed. v1.1", p. 244, 2009.
 - [33] IMS Global Learning Consortium (IMS), "LTI Tool provider Library PHP", 2016. [Online]. Available: <https://github.com/IMSGlobal/LTI-Tool-Provider-Library-PHP/wiki>. [Accessed: 07-Aug-2018].
 - [34] IMS Global Learning Consortium, "LTI Sample Tool Provider PHP", 2016. [Online]. Available: <https://github.com/IMSGlobal/LTI-Sample-Tool-Provider-PHP/wiki>. [Accessed: 07-Aug-2018].



Session TS-6A

Electronics III

Enseñando STEM con Arduino a alumnos de primaria

Antonio Menacho
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
amenacho@ieec.uned.es

Pedro PLaza
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
pplaza@ieec.uned.es

Manuel Blázquez
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
mblazquez@ieec.uned.es

Elio San Cristóbal
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
elio@ieec.uned.es

África López-Rey
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
alopez@ieec.uned.es

Blanca Quintana
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
bquintana@ieec.uned.es

Clara Pérez
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
clarapm@ieec.uned.es

Manuel Castro
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
mcastro@ieec.uned.es

Guillermo Botella
DACYA
UCM
Madrid, Spain
gbotella@ucm.es

Abstract— El número de estudiantes matriculado en grados de ingeniería ha ido descendiendo en los últimos años, a pesar de la introducción de asignaturas de tecnología en secundaria y bachillerato, lo que representa un inconveniente dado que la demanda de titulados en estas materias es creciente. La realización de experimentos facilita a los estudiantes la comprensión de los mismos, al tiempo que ayuda a afianzar los conceptos mostrados. En este trabajo se ha llevado a cabo una experiencia docente mediante la utilización de Arduino en niveles educativos inferiores para la demostración de algunos conceptos STEM, obteniendo resultados que indican que la utilización de estas herramientas ayuda a que los estudiantes sientan la tecnología como una herramienta útil para su aprendizaje.

Keywords— Arduino, STEM.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución del desarrollo tecnológico indica que la demanda de personas con habilidades en materias de ciencia y tecnología, lo que se conoce como STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), irá creciendo progresivamente.

Mientras que el mercado laboral requiere cada vez más profesionales de estas ramas, el número de matriculados en las titulaciones STEM solo representa el 24,6% del total de estudiantes universitarios en España. Además, en los últimos años se viene detectando un descenso en el número de alumnado matriculado en estudios de ingeniería [1]. En concreto, el número de estudiantes matriculados en titulaciones STEM ha descendido un 30,5% desde el curso 2000/01 [2].

Por otro lado, un 33% de los estudiantes matriculados en el Sistema Universitario Español (SUE), no finaliza el grado que inició y un 21% no termina estudios universitarios [3], [4].

Por si esto fuera poco, la tasa de abandono es mayor en titulaciones de las áreas científicas y técnicas [3], [4].

Este abandono, además, tiene un alto coste económico para el país, que se cifra en torno a los 1.000 millones de euros al año, ya que se realiza una inversión en plazas universitarias que no produce un rendimiento final para la sociedad. Este coste se estima que supone un 12% del gasto de los centros universitarios, tanto públicos como privados [3].

Es decir, cuando el mercado laboral necesita de más profesionales con competencias para el desarrollo de actividades económicas basadas en la digitalización, la tecnología y las ciencias, el número de estudiantes matriculados en las titulaciones que forman en estas competencias desciende de forma continua.

Aunque se han introducido asignaturas relacionadas con la tecnología en educación secundaria y bachillerato, no parece que este hecho esté generando el entusiasmo necesario entre el alumnado como para que decidan optar por estas ramas de conocimiento.

Resulta evidente, por tanto, que hay que emprender acciones para que las titulaciones STEM presenten un mayor atractivo para los futuros estudiantes universitarios, de forma que el estudio de estas materias les resulte más atractivo y/o motivador, que resulten lo suficientemente interesantes como para que sean consideradas como las profesiones a practicar durante su vida laboral. De lo contrario, la falta de profesionales en estas materias podría suponer retrasos en el desarrollo del país y, por supuesto, falta de liderazgo tecnológico, con los inconvenientes que pueden acarrear.

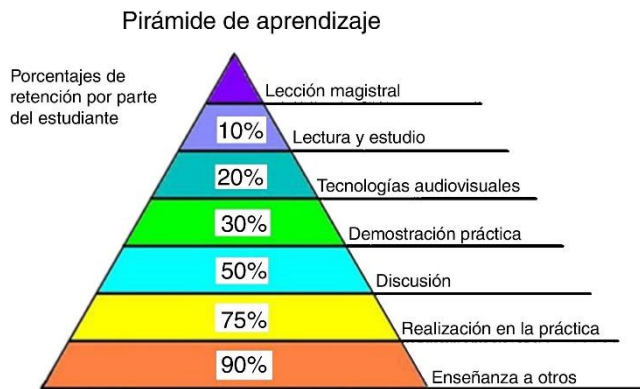


Fig. 1: Pirámide de aprendizaje [5]

Y estas acciones para fomentar el estudio de las habilidades STEM pueden comenzar en la educación primaria.

Según la pirámide de aprendizaje desarrollada por *The NTL Institute for Applied Behavioral Science* [6], al realizar demostraciones prácticas se aumenta un 10% la retención de conocimientos por parte del alumnado con respecto a la utilización de tecnologías audiovisuales [5] (Fig. 1).

Existen numerosos trabajos en los que se ha empleado Arduino como apoyo educativo para introducir a los estudiantes en la robótica [7], [8], programación [9], etc., así como otras herramientas con el mismo fin [10].

P. Martín-Ramos [11] propone un trabajo basado en proyectos con Arduino, realizados durante el verano, para captar alumnado de bachillerato para las titulaciones STEM.

En el caso de habilidades STEM, J.L. Martín [12] realizó un estudio sobre la creatividad, el pensamiento sistemático, la resolución de problemas y el trabajo en equipo mediante la realización de proyectos utilizando Arduino.

R. Shultz [13] propone la enseñanza de habilidades de ingeniería y la introducción de conceptos de ciberseguridad en estudiantes de primaria.

P. Plaza [14] creó una herramienta colaborativa para la enseñanza de robótica basada en lógica programable y Arduino.

Estos últimos estudios requieren de un cierto tiempo de dedicación que implicaría la reducción de tiempo disponible para la impartición de otras materias, por lo que resultarían complicadas de implantar en educación primaria, tal como está planteada en España.

Con este trabajo se pretende introducir Arduino y algunos *shields* para la realización de experimentos de ciencias en el nivel de primaria, de forma que los estudiantes sientan esta tecnología más cercana, como una herramienta que puede ayudarles a observar experimentos sobre conceptos de ciencias que hasta ahora solo podían leer en el libro utilizado en clase. Es decir, la idea no es enseñar Arduino o programación, sino utilizarlo como una herramienta simple y económica para la realización de estos experimentos.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

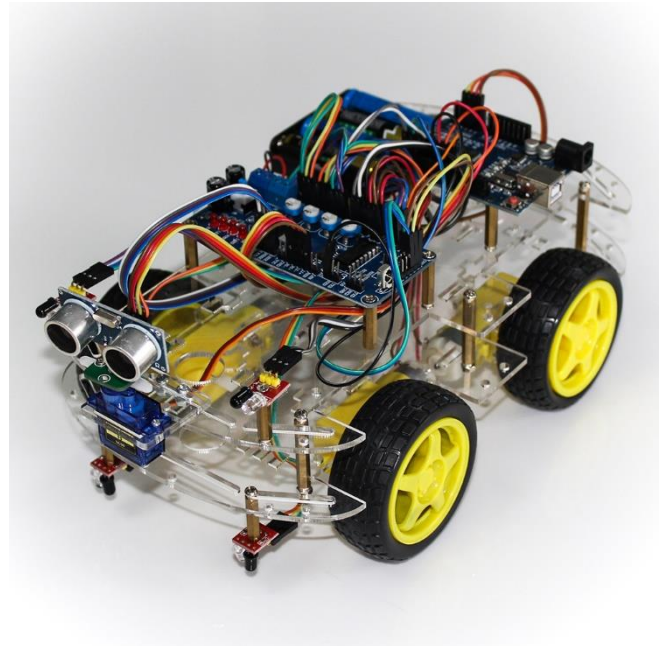
La experiencia mostrada en este trabajo se ha llevado a cabo en dos clases de primaria compuestas, en conjunto, por un total de 60 alumnos de ambos sexos.

El planteamiento del trabajo se ha realizado de forma que no ocupe más de una hora lectiva, tratando de hacer una presentación amena y que llame la atención de los estudiantes.

Se han abordado los siguientes conceptos:

A. Robótica

Inicialmente se muestra al alumnado varias fotografías de diversos robots y se les pregunta si consideran que son robots o no. Se comienza con un robot de aspecto humanoide (C-3PO de la guerra de las galaxias), un brazo robótico, un robot de transporte en factoría y, finalmente, un robot Arduino para seguimiento de línea de aspecto tosco (Fotografía 1).



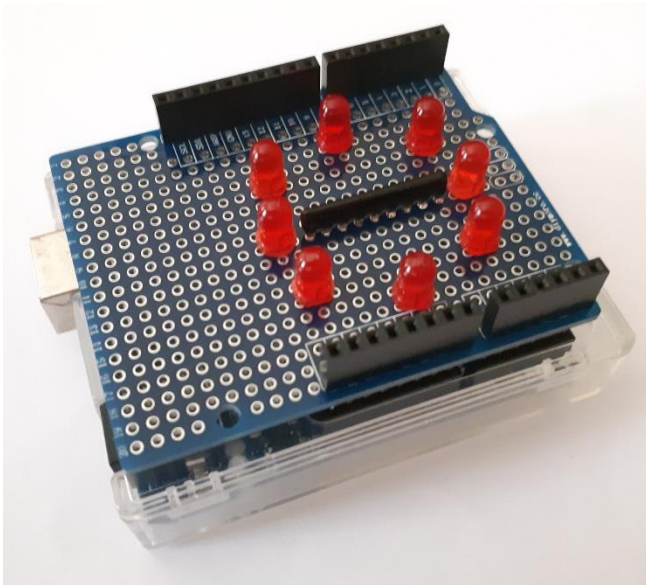
Fotografía 1: Robot seguidor de línea basado en Arduino (ebay.es).

Para los estudiantes queda claro que el robot de aspecto humanoide es un robot, pero la certeza disminuye con aquellos robots que no presentan un aspecto tan similar a un humano. En el caso del robot Arduino algunos alumnos dicen que se trata de un coche, no de un robot.

Para explicar por qué se utilizan robots, se emplea un montaje formado por 8 LEDs (*Light Emitting Diode*) instalados sobre una tarjeta de pruebas de formato Arduino UNO (Fotografía 2), alimentados a través de pulsadores y cables. Se solicita a un estudiante que encienda y apague repetidamente un LED. Posteriormente se le solicita que lo haga con dos LEDs y así sucesivamente hasta que le resulta imposible abarcar más. Entonces se explica a los estudiantes que los robots se utilizan para realizar tareas repetitivas, tareas que no necesitan ser explícitamente realizadas por seres humanos, tareas que necesitan más precisión que la que podemos tener los seres humanos o tareas que no pueden ser realizadas por humanos porque serían muy peligrosas.

Mientras tanto, se conectan de forma aleatoria los LEDs mediante cables a un Arduino UNO previamente programado para encenderlos de forma secuencial. Esto hace que los LEDs vayan luciendo de forma aparentemente aleatoria, por lo que los alumnos pueden observar que mediante un simple microcontrolador se puede realizar la tarea que no era posible realizar manualmente.

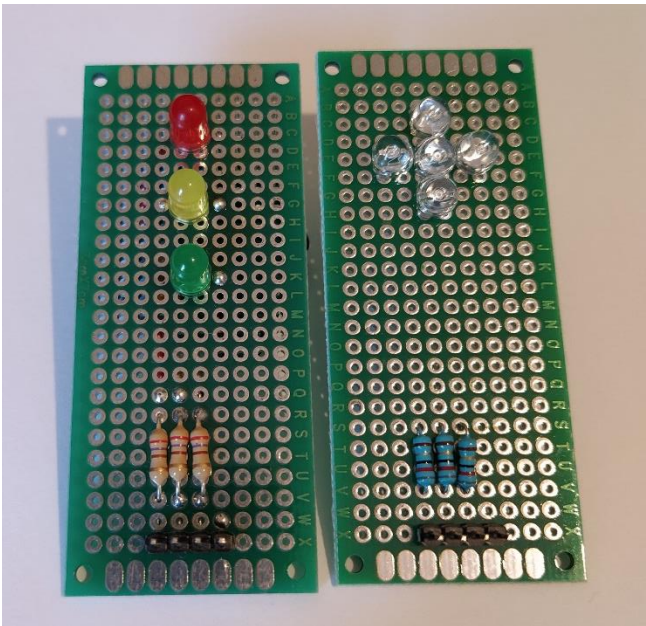
Finalmente, con el fin de llamar la atención del alumnado, se eliminan todos los cables y se instala la tarjeta directamente sobre Arduino, consiguiéndose que los LEDs se enciendan de manera secuencial circular, de forma que funciona como una luz giratoria en vehículos de emergencias.



Fotografía 2: Conjunto de LEDs montados sobre tarjeta de formato Arduino UNO.

A continuación, se presenta el control de un semáforo mediante el mismo Arduino UNO que se ha utilizado en el ejemplo anterior, cambiando la programación delante del alumnado. De esta forma los estudiantes pueden ver cómo el mismo dispositivo puede ser utilizado para varias funciones.

El primer semáforo se realiza mediante tres LEDs de distintos colores, mientras que el segundo se realiza mediante LEDs RGB (Fotografía 3). Se comenta a los alumnos que los actuales semáforos están contruidos mediante LEDs y que quizás en un futuro no muy lejano solo tengan una luz que cambie de color con el mismo dispositivo.



Fotografía 3: semáforos contruidos con LEDs de tres colores y un LED RGB.

B. Espectro visible

Posteriormente se ha preguntado al alumnado por cuántos colores forman el arco iris. Aunque no todos los estudiantes lo saben, en conjunto han respondido que siete, lo que era de esperar porque son los colores con los que habitualmente se representa en los libros de texto.

Mediante la utilización de un prisma se ha recreado el efecto del arco iris, es decir, la descomposición de la luz blanca en el espectro visible para los seres humanos. Se ha explicado al alumnado que, aunque en realidad hay miles de colores, no solo siete, existen algunos que no son visibles por los humanos, como es el caso de los infrarrojos y los ultravioletas. Se explica cómo otros seres vivos pueden detectar la radiación infrarroja: los mosquitos.

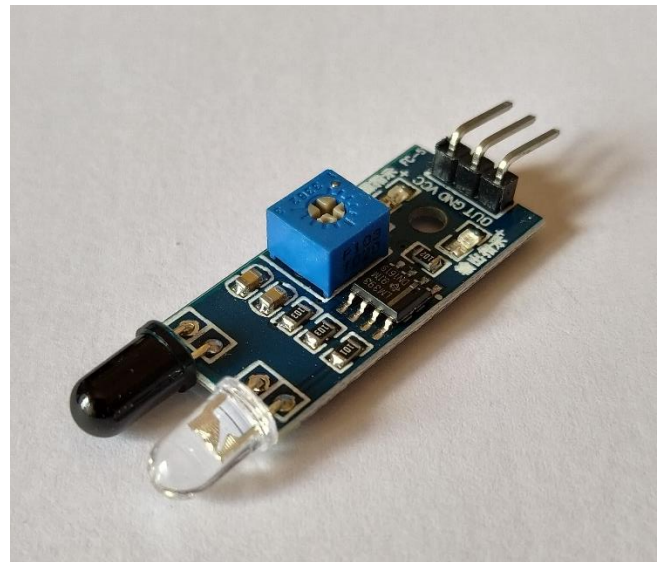
Para reafirmar el concepto de que la luz blanca está formada por la suma del resto de colores se propone la realización del proceso inverso mediante otro experimento simple: la obtención del color blanco a partir del resto de colores. Para ello se ha hecho girar una superficie circular con los diversos colores hasta que se ha visualizado el blanco.

C. Espectro no visible

Dado que ya se ha introducido la existencia de colores no visibles por el ser humano, se les ha preguntado si han utilizado alguna vez luces infrarrojas. La respuesta es no.

Como ejemplo de espectro no visible se trabaja con los infrarrojos, mostrándose un mando a distancia de TV, que todos utilizamos hoy en día. El hecho de que un mando a distancia funcione con infrarrojos vuelve a causar sorpresa entre el alumnado.

Se ha pasado entonces a mostrar LEDs infrarrojos que, aunque se conectan al mismo circuito con pulsadores utilizado anteriormente, parece que no se encienden.



Fotografía 4: sensor de infrarrojos FC-51.

A continuación, se ha utilizado un *shield* de Arduino, en concreto el modelo FC-51 (Fotografía 4) y, aislando el diodo receptor, se demuestra que el LED infrarrojo que parecía que no funcionaba es capaz de activar el sensor. Esto se hace con la intervención de otro alumno/a para que lo active o no a su elección. Posteriormente se utiliza el mando a distancia de la TV para activar el sensor, demostrándose que emplea un LED

infrarrojo para comunicarse con la TV, es decir, está emitiendo luz, aunque no la veamos.

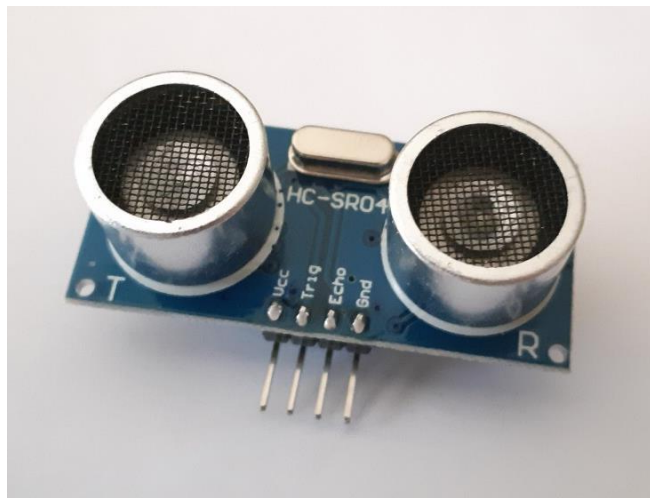
Se realizan varias pruebas para que los estudiantes puedan ver cómo funciona este *shield* y los LEDs infrarrojos.

A continuación, se explica cómo este circuito se utiliza en un robot seguidor de línea basado en Arduino y se realiza una demostración de funcionamiento del robot mostrado al inicio de la clase. Esta parte del trabajo es la que más expectación levanta entre el alumnado y se aprovecha este hecho para recalcar los conceptos trabajados.

D. Espectro audible y no audible

Del mismo modo que hay radiaciones que no son detectadas por los humanos, se explica a los alumnos que ocurre lo mismo con el sonido. Se pone el ejemplo de los murciélagos, que son capaces de guiarse mediante ultrasonidos, o los elefantes, que se comunican a muy larga distancia usando señales de baja frecuencia. En ambos casos, ultrasonidos y sonidos de baja frecuencia, inaudibles para los humanos.

Se presenta al alumnado un módulo de ultrasonidos, el sensor HC-SR04 (Fotografía 5). Con este módulo y con Arduino UNO se ha implementado un equipo con el que detectar la distancia a la que se encuentra un objeto, tal y como hacen los murciélagos para evitar chocar con algún obstáculo o tal como funciona el sistema instalado en muchos vehículos para detectar distancias a la hora de aparcar. Así se demuestra a los estudiantes que esta tecnología es de uso cotidiano y que algunos de ellos la ven a diario.



Fotografía 5: sensor de ultrasonidos HC-SR04.

III. EVALUACIÓN

El documento “Enseñanzas propias para la Educación Primaria”, área de Ciencias de la Naturaleza [15], recoge criterios de evaluación de los contenidos de esta área. Así, el criterio de evaluación C.E.2.6. pretende evaluar “...las propiedades elementales de la luz natural, la descomposición del color,...”, con respecto a los contenidos del “Bloque 4: “Materia y Energía”: 4.9. La descomposición de la luz blanca. El color”.

En el mismo documento se recoge el criterio de evaluación C.E.3.6. para “...evaluar los conocimientos adquiridos sobre las propiedades básicas del sonido y su naturaleza,...”.

Con el fin de introducir la menor distorsión posible en las respuestas del alumnado, ha sido el profesorado que dirige ambas aulas quienes han evaluado la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes, como hacen habitualmente, y la percepción de estos con respecto a la utilización de Arduino y *shields*.

Para evaluar los conocimientos han realizado un cuestionario con preguntas similares a las que formulan en las evaluaciones habituales, relacionadas con la materia tratada en este trabajo.

El cuestionario, además, incluía las siguientes cuestiones:

- Indica si te ha resultado más o menos fácil comprender la composición de la luz blanca.
- Indica si te ha resultado más o menos fácil comprender qué son los ultrasonidos.
- ¿Te gustaría utilizar este tipo de demostraciones con otras materias de estudio?

IV. RESULTADOS

Los resultados reportados por el profesorado son los siguientes:

La retención por parte del alumnado de los conceptos abordados en este trabajo ha aumentado en un 14%, con respecto a resultados anteriores. Es decir, las calificaciones que habrían obtenido estos estudiantes habrían sido superiores.

Con respecto a las tecnologías utilizadas, el profesorado considera que han atraído la atención del alumnado, que ha prestado más atención de la habitual durante las sesiones realizadas.

El 77% de los estudiantes han indicado que les ha resultado más fácil comprender los conceptos abordados gracias a que han podido comprobar lo que se les explicaba. El resto ha indicado que les ha resultado igual de fácil.

En cuanto a si les gustaría que se les explicasen otros conceptos utilizando estas herramientas, han respondido todos que sí.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se han realizado diversos experimentos de ciencias mediante la utilización de Arduino y *shields* con el fin de afianzar los conocimientos STEM del alumnado de primaria.

La utilización de estas herramientas para este propósito, en educación primaria, ha resultado positiva, incrementando la retención de conocimiento en el alumnado, como cabría de esperar según se recoge en la pirámide de aprendizaje.

Con la utilización de estas herramientas, los estudiantes han encontrado una mayor facilidad para la comprensión y asimilación de estas materias.

El alumnado se muestra receptivo para la utilización de este tipo de tecnología para el estudio de asignaturas STEM.

Esta experiencia se debería extender a más alumnos y colegios, con el fin de tener una población de estudio mayor que pueda confirmar los resultados obtenidos. Esto no ha sido posible durante este curso.

Se pueden implementar experimentos sobre otras materias STEM.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la participación del CEIP Álvarez Quintero de Utrera y su profesorado, por su disposición para llevar a cabo esta experiencia educativa. También quieren agradecer el soporte del proyecto GID2016-17 "Laboratorios de STEM y robótica educativa para la mejora de la experiencia del estudiante-STEM-SEC", Proyecto de Innovación Docente (PID) para Grupos de Innovación Docente (GID). UNED.

REFERENCIAS

- [1] BOE: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [2] La contribución socioeconómica del sistema universitario español, CRUE, <http://www.crue.org/Documentos%20compartidos/Publicaciones/Informe%20contribucion%20socioeconomica%20del%20SUE/La%20contribucion%20socioeconomica%20del%20sistema%20universitario%20espa%C3%B1ol%20WEB.pdf>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [3] Informe U-Ranking 2019, Fundación BBVA-Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE), <https://www.fbbva.es/notas-prensa/un-33-de-los-alumnos-no-finaliza-el-grado-que-inicio-y-un-21-abandona-sin-terminar-estudios-universitarios/>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [4] Ranking Universidades Españolas, <https://www.u-ranking.es/index2.php>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [5] L.H. Ros Mendoza, Y. Navarro Monforte, T. Rambla Sanz, La enseñanza en Radiología: un nuevo método para planificar y evaluar por competencias, Revista Argentina de Radiología, Volume 81, Issue 4, 2017, Pages 279-284, ISSN 0048-7619, <https://doi.org/10.1016/j.rard.2017.02.002>. [14] L. M. Herger and M. Bodarky, "Engaging students with open source technologies and Arduino," in Proc. 5th IEEE Integr. STEM Educ. Conf. (ISEC), Princeton, NJ, USA, 2015, pp. 27–32.
- [6] The NTL Institute for Applied Behavioral Science <https://www.ntl.org/>.
- [7] Plaza, P., Sancristobal, E., Carro, G., Blazquez, M., García-Loro, F., Martín, S., Perez, C., & Castro, M. (2018). Arduino as an Educational Tool to Introduce Robotics. 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 1-8.
- [8] P. Plaza, E. Sancristobal, G. Fernandez, M. Castro and C. Pérez, "Collaborative robotic educational tool based on programmable logic and Arduino," 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), Seville, 2016, pp. 1-8.
- [9] Beug, A. Teaching Introductory Programming Concepts: A Comparison of Scratch and Arduino. Master Thesis, 2012.
- [10] Pedro Plaza, Elio Sancristobal, German Carro, Manuel Blazquez, Félix García-Loro, Mónica Muñoz, Maria Jose Albert, Belen Morínigo, Manuel Castro, "STEM and Educational Robotics Using Scratch", Global Engineering Education Conference (EDUCON) 2019 IEEE, pp. 330-336, 2019.
- [11] Pablo Martín-Ramos, M. Margarida Lima da Silva, Maria João Lopes, and Manuela Ramos Silva. 2016. Student2student: arduino project-based learning. In Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 79–84. DOI:<https://doi.org/10.1145/3012430.3012500>.
- [12] Martín, José L., Martínez, P., Fernández, G.M., Bravo, C., Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico, Seminario Modelos innovadores en las aulas: aprender en la sociedad del conocimiento, escuelas y tecnologías, 2016.
- [13] Shultz, R., & Ueda, D. E., & Ward, J. S., & Fontecchio, A. K. (2015, June), A Hands-On, Arduino-Based Approach to Develop Student Engineering Skills and Introduce Cybersecurity Concepts to K-12 Students, ASEE Annual Conference & Exposition, 2015, Seattle, Washington. 10.18260/p.23395.
- [14] Plaza, P., Sancristobal, E., Fernandez, G., et al.: 'Collaborative robotic educational tool based on programmable logic and arduino'. 2016. Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), Seville, Spain, 22–24, June 2016, pp. 1–8.
- [15] Junta de Andalucía, Consejería de Educación Cultura y Deporte: [http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/curriculo-primaria/pdf/PDF/Ciencias de la Naturaleza/01-0ciencias de la naturaleza.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/curriculo-primaria/pdf/PDF/Ciencias%20de%20la%20Naturaleza/01-0ciencias%20de%20la%20naturaleza.pdf). Fecha de consulta: 19-12-2020.

Diseño de Sondas Aisladas para Prácticas Docentes de Electrónica de Potencia

D. Antolín
Escuela Politécnica de la Almunia,
Centro Adscrito a la Universidad de Zaragoza
Grupo de Diseño Electrónico
La Almunia de Doña Godina,
Zaragoza, España
dantolin@unizar.es

B. Calvo
Dept. Ingeniería Electrónica,
Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza
Grupo de Diseño Electrónico
Zaragoza, España
becalvo@unizar.es

F. J. Pérez-Cebolla
Dept. Ingeniería Electrónica,
Escuela de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de Zaragoza
Grupo de Electrónica de Potencia
Zaragoza, España
fperez@unizar.es

N. Medrano
Dept. Ingeniería Electrónica,
Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza
Grupo de Diseño Electrónico
Zaragoza, España
nmedrano@unizar.es

Abstract— En un laboratorio de electrónica de potencia resulta necesario disponer de instrumentación adecuada para la medida de tensiones y corrientes relativamente elevadas de forma segura. Ello implica el uso de sondas activas de tensión y de corriente, cuyo coste es muy superior al de las sondas pasivas sin aislamiento. Si además se trata de un laboratorio con fines docentes, el número de usuarios es elevado y en consecuencia el mantenimiento de estas sondas supone un coste adicional. Así, con el fin de disponer de una instrumentación adecuada al proceso de aprendizaje con un coste bajo, en este trabajo se presenta el diseño de dos sondas activas de tensión y de corriente.

Keywords— *Electrónica de potencia, instrumentación, sondas activas, medida de tensión, medida de corriente*

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en la asignatura “Electrónica de Potencia” impartida en el tercer curso de los Grados de Ingeniería Eléctrica [1] e Ingeniería Mecatrónica [2] de la Universidad de Zaragoza. En las prácticas de laboratorio, los estudiantes emplean sondas activas de tensión en modo diferencial que facilitan el aislamiento galvánico. El modo diferencial posibilita la medida de corrientes mediante la inclusión una resistencia tipo *shunt*. No obstante, al ser sondas diseñadas para la medida de hasta varios cientos de voltios, en este modo las capturas quedan perturbadas salvo que las corrientes a medir sean elevadas. Además, el coste de estas sondas es relativamente alto, al igual que el de su mantenimiento. Con el objeto de solventar la problemática anterior, en este trabajo se presenta el diseño ad hoc de una sonda activa de tensión y otra de corriente, con un bajo coste de implementación y, por ende, de su mantenimiento, facilitando el equipamiento docente de los laboratorios de potencia.

Además, para el diseño y desarrollo de los diferentes subsistemas (fuentes de alimentación [3], amplificadores de aislamiento [2, 3], amplificación [5]–[7], filtros activos [5]–[7], medida de corriente y tensión [6]), se utilizan circuitos estudiados en asignaturas previas de los grados como “Tecnología Electrónica I”, completando el proceso de

enseñanza-aprendizaje y mostrando la utilidad y funcionalidad real de diferentes circuitos. De esta manera se hace ver al alumnado que la teoría y los diseños estudiados en el aula pueden formar parte de una implementación real y funcional reforzando el proceso de aprendizaje y la motivación de los estudiantes.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El conjunto de sondas diseñado es capaz de medir tensiones de la red trifásica de distribución (520 V de pico) y corrientes de hasta 4 A, en ambos casos con un ancho de banda comprendido entre DC y 50 kHz.

Por otro lado, al ser sondas diseñadas para una aplicación docente se han utilizado circuitos presentados durante el desarrollo de las diferentes asignaturas de las titulaciones con el objetivo de que los alumnos sean capaces de distinguir dichas estructuras e identificarlas a través de un ejemplo a la par práctico y útil.

El diseño e implementación de ambas sondas se describe en los siguientes apartados.

A. Sonda Aislada de Tensión

La sonda de tensión se basa en el amplificador de aislamiento ISO122, o ISO124, de Texas Instruments[8], [9]; siendo estos perfectamente compatibles. Estos amplificadores operacionales basados en un aislamiento capacitivo admiten una tensión máxima de entrada de ± 100 V, siendo su rango lineal de entrada de ± 10 V. Si bien estos amplificadores a priori no se caracterizan ni por una gran precisión ni un gran ancho de banda, su disponibilidad en un formato DIP (fácilmente insertable en un zócalo) y su no elevado coste los convierten en candidatos ciertamente adecuados en términos de mantenimiento. Ayudando con ello a reforzar el aprendizaje de los circuitos estudiados en el aula y posteriormente montados en el laboratorio.

En la Fig. 1 se muestra el diagrama funcional de bloques de la sonda aislada para la medida de tensión. Se puede observar como la sonda cuenta con dos fuentes bipolares de alimentación, independientes entre sí y aisladas de la red de suministro eléctrico, las cuales se encargan de alimentar las etapas de entrada y de salida del amplificador operacional con aislamiento.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Vicerrectorado de Política Científica (PIIDUZ_19_360).

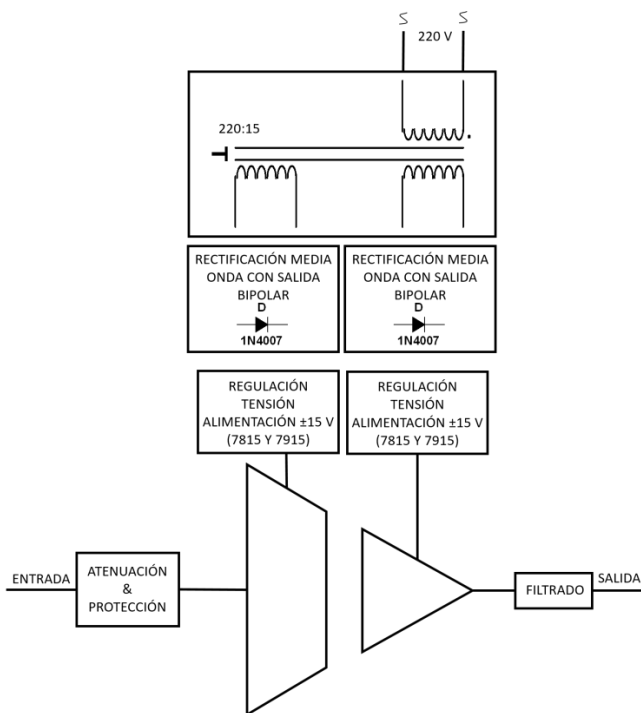


Fig. 1. Diagrama de bloques funcional de la sonda aislada de tensión.

La sonda también dispone a su entrada de una etapa atenuadora, que actúa como circuito de protección para evitar que tensiones elevadas dañen al AO de aislamiento.

Finalmente, la sonda incorpora a su salida un filtro activo implementado mediante amplificadores operacionales, encargado de reducir el posible nivel de ruido generado en la salida del amplificador de aislamiento.

Los subsistemas anteriores se describen a continuación:

1) Fuente de Alimentación

En la Fig. 2 se muestra el esquema del circuito de la fuente de alimentación. Cuenta con un transformador para atenuar la tensión de red, sus respectivos rectificadores en media onda (para los semiciclos positivo y negativo) y condensadores de filtrado. La etapa de regulación de tensión está formada por un 7815 y un 7915 que permiten establecer unas tensiones de alimentación de ± 15 V, valores de tensión dentro del rango de alimentación indicado en el amplificador de instrumentación.

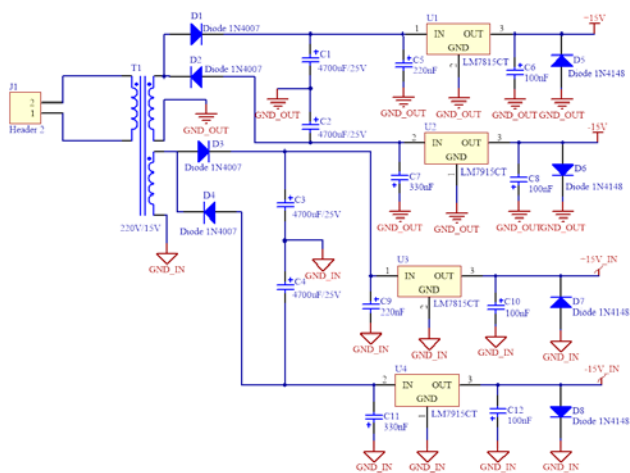


Fig. 2. Esquema del circuito de la fuente de alimentación de la sonda aislada de tensión.

El diodo que se encuentra a la salida en polarización inversa está como elemento de protección frente a posibles inversiones de polaridad en los terminales de alimentación.

A través de esta implementación se muestra al estudiante una aplicación de la versión clásica de diseño de una fuente de alimentación lineal, implementada en base a las cuatro etapas básicas ya vistas: atenuación, rectificación, filtrado y regulación.

2) Etapa de Entrada: Atenuación más Protección

Asumiendo que el rango de tensiones de entrada para el que se desea que la sonda sea funcional se extiende hasta los 520 V de pico de la red trifásica y que el amplificador de aislamiento capacitivo ISO122 tiene un rango de funcionamiento en la entrada de ± 10 V, soportando hasta ± 100 V sin romperse, la tensión que puede haber en la entrada del AO de aislamiento es muy superior al rango de entrada admitido, por lo que resulta necesario incluir un atenuador. Este, tal como se muestra en la Fig. 3, se basa en un divisor resistivo compuesto por tres resistencias (R_1 , R_2 y R_3) que en función del estado de unos interruptores permiten atenuar la señal respectivamente $\times 1$, $\times 10$ o $\times 100$.

En el caso de que la entrada sea directa (atenuación $\times 1$), si por error se introdujesen valores de tensión superiores al límite de ± 100 V que el amplificador puede soportar, obviamente este se destruiría. Con el fin de evitar que un alumno o cualquier otro usuario pueda destruir el amplificador de ese modo, la etapa de protección compuesta por R_4 , D_1 y D_7 se encarga de limitar la tensión de entrada del amplificador en el rango de ± 15 V.

Por otro lado, como segundo sistema de seguridad, la entrada de tensión directa (sin atenuación) en el amplificador de aislamiento solo se produce al activar S_1 y S_2 de forma simultánea ($a = ON$). Se establece entonces la conexión física de la entrada con el amplificador a través del circuito recortador formado por D_1 , D_7 y R_4 mostrado en la Fig. 3.

La atenuación cuando el valor de entrada es máximo hace que la caída de tensión en $R_1 = 100k\Omega$ sea aproximadamente de 500 V con una disipación de potencia es de 5 W. Este valor de R_1 provoca que con una atenuación en la sonda de $\times 10$ la medida no sea altamente precisa, pero si suficiente en una aplicación docente, donde el propósito es demostrar el funcionamiento diferentes circuitos.

El estado de los interruptores para configurar los diferentes valores de atenuación se muestra en la tabla I.

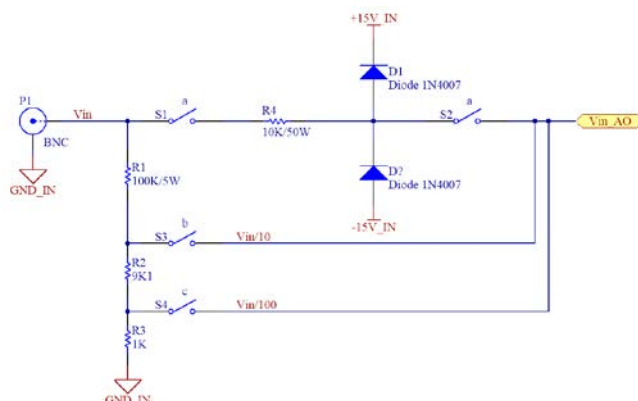


Fig. 3. Esquema del circuito de la etapa de entrada a la sonda de tensión aislada.

TABLA I. CONDICIONES DE ATENUACIÓN

Condiciones de Atenuación			
Rango de Entrada	Atenuación	Condición de Activación	Estado de los Interruptores
0-10 V	x1	a = ON	S1 = CERRADO
		b = OFF	S2 = CERRADO
		c = OFF	S3 = ABIERTO
0-100 V	x10	a = OFF	S4 = ABIERTO
		b = ON	S1 = ABIERTO
		c = OFF	S2 = ABIERTO
0-520 V	x100	a = OFF	S3 = CERRADO
		b = OFF	S4 = ABIERTO
		c = ON	S1 = ABIERTO

3) Etapa de Aislamiento

Es la etapa principal de la sonda y está basada en el amplificador de aislamiento capacitivo ISO122 o ISO 124, dicha etapa se muestra en la Fig. 4.

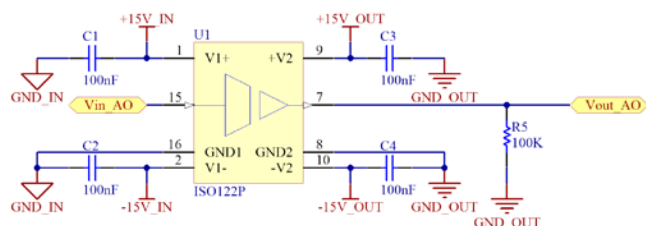


Fig. 4. Esquema del circuito de la etapa de aislamiento.

4) Etapa de Salida

La etapa de salida completa está formada por dos etapas amplificadoras básicas, cuyo esquema se muestra en la Fig. 5. La primera etapa, a la izquierda del esquema es una etapa sumadora, implementada para realizar una compensación del offset, la cual se selecciona con un selector (S5).

La siguiente y última etapa antes de salir a un conector BNC para la conexión al osciloscopio es un filtro de segundo orden analógico con comportamiento Butterworth y una topología Sallen-Key, cuyo circuito se muestra en parte derecha de la Fig. 5. El paso de la señal a la salida a través del filtro también es seleccionable a través de un conmutador (S6). La frecuencia de corte del filtro se ha hecho coincidir con la máxima que admite el amplificador de aislamiento, siendo esta igual a 50 kHz.

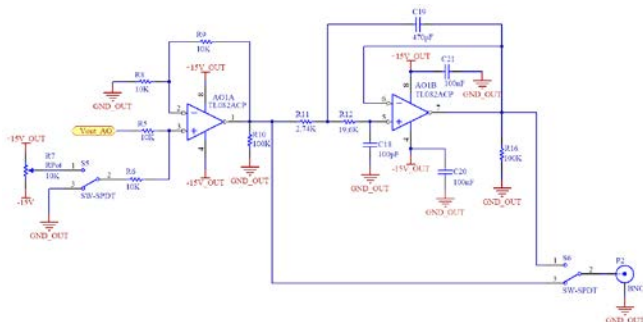


Fig. 5. Esquema del circuito de la etapa de salida.

B. Sonda Aislada de Corriente

A nivel comercial las sondas activas para la medida de corriente cuyo rango en frecuencia comienza en continua (DC) están basadas en el efecto Hall. Estas sondas permiten no interferir en el circuito para realizar la medida presentando

un elevado nivel de seguridad. Las desventajas que tienen son su precio, su difícil mantenimiento y construcción mecánica.

El método elegido en este trabajo para la medida de corriente se basa en el uso de una resistencia tipo *shunt*. Este procedimiento es barato y fácil de mantener, si bien en contraposición presenta el inconveniente de tener que modificar levemente el circuito al incluir la resistencia para la medida de la corriente.

En este caso el amplificador empleado para proporcionar el aislamiento galvánico entre la entrada y la salida de la sonda es un HCPL-7840 de Broadcom [10], siendo este de tipo optoelectrónico.

Las aplicaciones típicas de este amplificador son: la medida de la corriente de fase en motores, el sensado de corriente en un inversor, el aislamiento de la señal de una fuente de alimentación conmutada, el aislamiento de una señal analógica de propósito general y la monitorización y medida de corriente en aplicaciones de propósito general, siendo esta última la que se pretende alcanzar en nuestro caso.

Este amplificador también se encuentra disponible con un encapsulado en formato DIP (para su inserción con zócalo) y presenta un coste muy adecuado en términos de mantenimiento, siendo, por tanto, su uso recomendable en laboratorios docentes.

Las tensiones de alimentación tanto para la entrada como para la salida de este amplificador de aislamiento óptico son de +5 V, mientras que su rango de entrada en operación lineal se encuentra entre ± 200 mV en modo diferencial.

En la Fig. 6 se muestra el diagrama funcional de bloques de la sonda aislada para la medida de corriente. Se puede observar como la sonda cuenta con dos fuentes de alimentación independientes entre sí y aisladas de la red, encargadas de alimentar las etapas de entrada y de salida del amplificador con aislamiento y las diferentes etapas básicas para la acomodación de su tensión de salida.

Dado que la medida de la corriente se realiza a través de una resistencia y la señal pasa a través del amplificador de aislamiento cuyo rango de salida es de ± 200 mV con salida

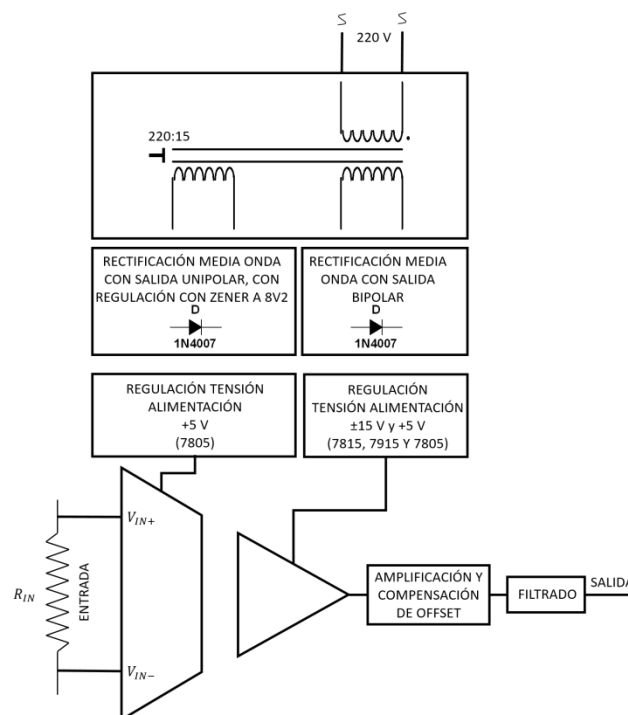


Fig. 6. Diagrama de bloques funcional de la sonda aislada de corriente.

diferencial, resulta necesario amplificar y restar dicha señal para lograr una medida apropiada. Se incluye además la compensación del posible offset de salida del amplificador de aislamiento.

Al igual que en la sonda de tensión, a la salida de la sonda de corriente se ha incluido una etapa de filtrado también implementada mediante amplificadores operacionales.

Los subsistemas anteriormente descritos se detallan a continuación:

1) Fuente de Alimentación

En la Fig. 7 se muestra el esquema del circuito de la fuente de alimentación diseñada para esta sonda. La metodología de diseño seguida es la misma que para la sonda anterior, con la particularidad de que en este caso las tensiones del amplificador de aislamiento son de +5 V tanto para la etapa de entrada como para la de salida, siendo ± 15 V para el resto de etapas amplificadoras encargadas de la acomodación y el filtrado de la señal a medir.

Con el objetivo de mostrar a los estudiantes que el uso o la estandarización en el uso de componentes es una práctica habitual en la industria para la reducción de costes se ha utilizado el mismo transformador, con una relación de transformación 220/15. De nuevo la implementación de las fuentes lineales se ha realizado en base a estructuras clásicas fácilmente identificables para los estudiantes.

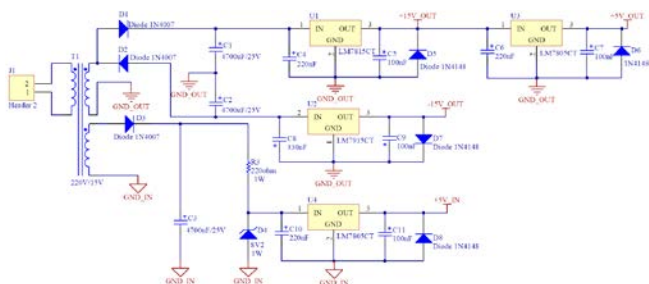


Fig. 7. Esquema del circuito de la fuente de alimentación de la sonda de corriente.

En el diseño de la fuente alimentación de la etapa de la salida de la sonda se han utilizado los mismos reguladores lineales de +15 V y -15 V (7815 y 7915) que en la sonda anterior. Los +5 V se han obtenido conectando en cascada la tensión de salida de +15 V (7815) a la entrada del regulador de +5 V (7805).

2) Etapa de Entrada y Aislamiento

La sonda está diseñada para la medida de corrientes no superiores a 4 A. Su etapa de entrada completa se muestra en la Fig. 8.

La conexión de entrada, como en el caso de la sonda aislada de tensión, también es del tipo BNC. Con el fin de evitar sobre corrientes en la entrada de la sonda, como primer sistema de protección se incluye un fusible de 4 A.

El rango de entrada objetivo en corriente es de 4 A, mientras que el amplificador operacional tiene un rango de operación lineal en tensión de entrada en modo diferencial de ± 200 mV. Para obtener estos rangos de operación con una resolución adecuada se han utilizado dos resistencias de $0,1 \Omega$ y 2 W . La primera de ellas (R1) se encuentra siempre conectada y sirve para realizar medidas en el rango de 0 a 2 A. La medida en el rango de 0 a 4 A se realiza conectando en paralelo una segunda resistencia (R2) con las mismas características, obteniendo así una resistencia equivalente de $0,05 \Omega$. De esta manera se consigue una resolución apropiada para cada rango y que haya una caída de tensión diferencial de ± 200 mV en la entrada del AO.

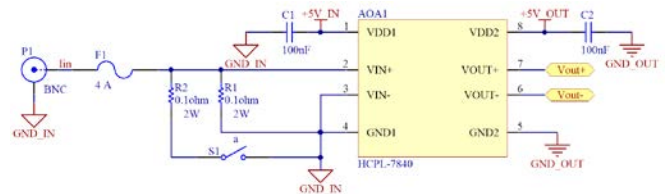


Fig. 8. Esquema del circuito de la etapa de entrada para la sonda aislada de corriente.

Como la relación entre la tensión de entrada y de salida en el amplificador es 1, la tensión diferencial en la salida se encuentra entre ± 200 mV. Este rango de tensión resulta muy bajo para la adquisición de información a través de su representación en el osciloscopio. Por otro lado, la medida de corriente con determinada precisión requiere el uso de diferentes rangos de funcionamiento. Si además, como es el caso, se pretende conseguir una relación directa entre los valores medidos de corriente y la tensión representada por la sonda en el osciloscopio, resulta necesario incluir una etapa amplificadora a la salida del amplificador de aislamiento.

La relación entre los rangos de corriente de entrada, la resistencia *shunt*, los rangos tensión de entrada y salida en el AO y los rangos de tensión en el terminal BNC de la sonda se muestra en la Tabla II.

TABLA II. TABLA DE RANGOS DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE

Tabla de Rangos de Conversión de Corriente			
Escala (I_{IN})	Resistencia de Entrada	Rango de Tensión de Entrada en el AO (V_{IN})	Rango de Tensión de Salida de la Sonda (V_{OUT})
0-20 mA	$0,1 \Omega$	0-2 mV	0-2 V
0-200 mA	$0,1 \Omega$	0-20 mV	0-2 V
0-2 A	$0,1 \Omega$	0-200 mV	0-2 V
0-4 A	$0,1 \Omega / 0,1 \Omega = 0,05 \Omega$	0-200 mV	0-4 V

3) Etapa de Amplificación

La Fig. 9 muestra el circuito de amplificación. La medida dentro de los cuatro rangos especificados utiliza tanto el interruptor que conecta la primera resistencia de entrada (S1) como los tres asociados a la etapa amplificadora (S3, S4 y S5).

La amplificación de la señal diferencial se realiza mediante un único amplificador de instrumentación INA217 de Texas Instruments [11] y la resistencia de ganancia. El amplificador dispone además de una entrada adicional que conectada a través del conmutador S2 al potenciómetro R6 permite compensar el offset.

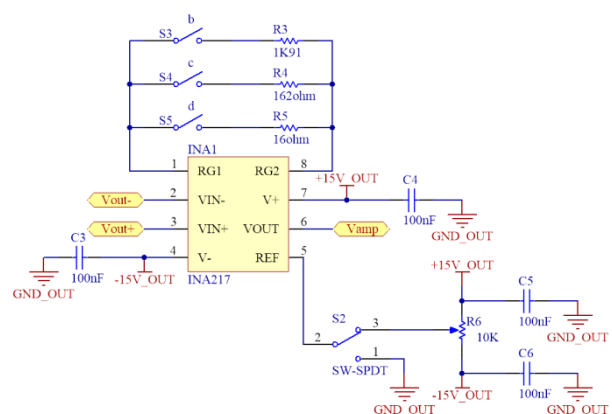


Fig. 9. Esquema del circuito de la etapa de amplificación para la sonda aislada de corriente.

Con este diseño se hace uso de otra topología clásica explicada junto con otras similares en la asignatura Instrumentación Electrónica.

La amplificación se lleva desde las tensiones de entrada indicadas en la Tabla II hasta 10 V de pico en todos los rangos de entrada.

4) Etapa de Salida (Filtrado y Atenuación)

Tras la etapa de amplificación, donde el valor máximo en cada intervalo llega a alcanzar los 10 V, resulta necesaria la inclusión de otras dos etapas.

La primera de ellas se compone de dos filtros de segundo orden con respuesta plana en la banda de paso de tipo Butterworth implementados en base a una topología Sallen-Key y cuyas frecuencias de corte son 50 kHz (S7) y 150 kHz (S8).

El primer filtro se encuentra en consonancia con la frecuencia de corte del filtro en la sonda de tensión, mientras que el segundo posibilita el funcionamiento de la sonda aislada de corriente en todo el rango de operación del amplificador operacional de aislamiento.

La activación del interruptor (S6) elimina la acción de filtrado, conectando la salida de la sonda directamente con la del amplificador de aislamiento.

Por último, para posibilitar una relación directa entre la corriente medida y la tensión a la salida de la sonda, es necesario atenuar el voltaje máximo alcanzado (10 V) en la salida amplificador de instrumentación tras la amplificación.

La Tabla III recoge la relación entre los rangos de entrada en la sonda de corriente, el rango de tensión amplificada, así como el factor de atenuación necesario para que exista una relación directa entre la corriente que circula por la resistencia *shunt* y la tensión representada en la pantalla del osciloscopio, es decir, que con 2 A de corriente el osciloscopio muestre 2 V de tensión.

TABLA III. TABLA DE RANGOS DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE-TENSIÓN

Tabla de Rangos de Conversión de Corriente-Tensión			
Escala (I_{IN})	Tensión Salida tras la Amplificación (V_o) INA217	Factor de Atenuación	Rango de Tensión de Salida de la Sonda (V_{OUT})
0-20 mA	0-10 V	1/5	0-2 V
0-200 mA	0-10 V	1/5	0-2 V
0-2 A	0-10 V	1/5	0-2 V
0-4 A	0-10 V	2/5	0-4 V

La Fig. 10 muestra la implementación de esta etapa. La conexión al osciloscopio se realiza a través de un conector BNC.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este apartado se van a presentar algunas de las pruebas realizadas que permiten validar el uso de las sondas aisladas presentadas en este trabajo. Para ello se van a comparar las medidas con las sondas diseñadas ad hoc con las obtenidas utilizando las sondas aisladas comerciales (TESTEC 15101 SI9001) empleando el mismo procedimiento de medida para ambas sondas. Estas sondas comerciales están concebidas para la medida de tensiones, pero hasta ahora también se utilizaban para la medida de corriente, por lo que era necesario incluir un *shunt* de la misma manera que la sonda aquí propuesta. Los resultados del desarrollo y montaje de ambas

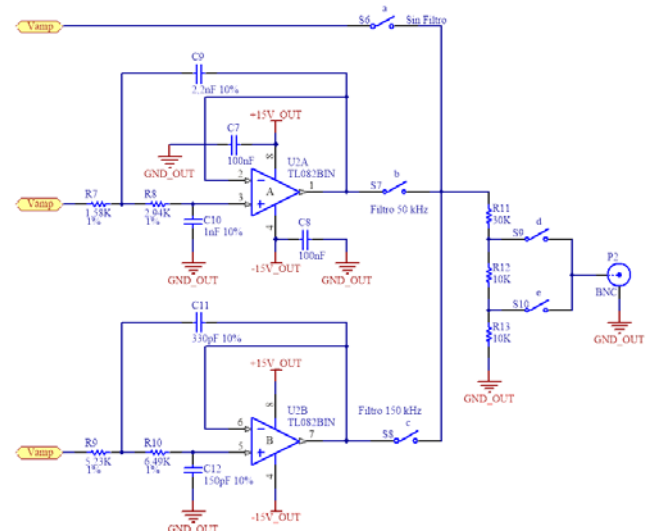


Fig. 10. Esquema del circuito de la etapa de amplificación para la sonda aislada de corriente.

sondas de manera independiente para la medida de las dos magnitudes, tensión y corriente.

Las pruebas se han realizado sobre la placa de prácticas cuyo esquema se muestre en la Fig. 11, concretamente seleccionando carga resistiva y el triac como dispositivo de conmutación. Es necesario, además, incluir un circuito de disparo en sincronismo con la red.

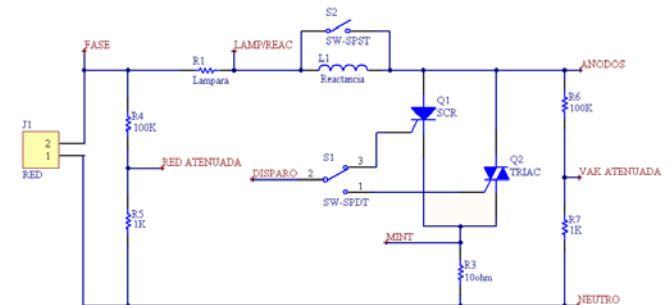


Fig. 11. Esquema del circuito de tiristor y triac sobre el que se han realizado las pruebas de validación.

A. Sonda Aislada de Tensión

La Fig. 12 muestra la implementación final del diseño de la sonda de tensión. En ella se pueden ver los diferentes elementos del diseño: transformador, condensadores de filtrado, reguladores lineales de tensión, circuito de protección frente sobre tensiones (circuito recortador), etapa de atenuación de entrada y filtro de salida.

Para validar el funcionamiento se ha montado un circuito que controla el ángulo de disparo del triac mostrado en la Fig. 11. El resultado de la medida entre los terminales principales de este dispositivo se puede ver en la Fig. 13. En esta figura se muestran las señales adquiridas por el osciloscopio entre los mismos puntos del circuito, tanto con la sonda comercial (TESTEC 15101 SI9001) como la específicamente diseñada, ambas conectadas de forma simultánea. En rojo se presenta la gráfica de medida tomada utilizando la sonda comercial mientras que en azul se observa la adquisición con la sonda diseñada.

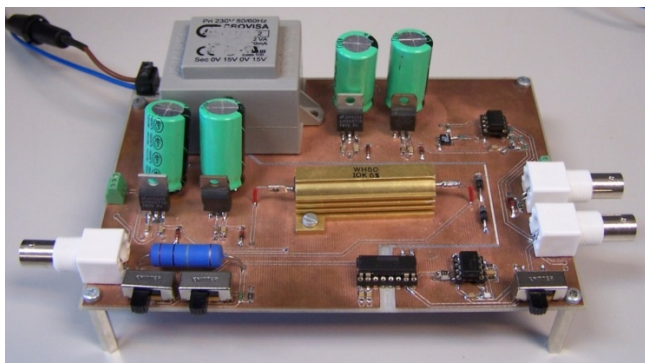


Fig. 12. Implementación física de la sonda aislada de tensión.

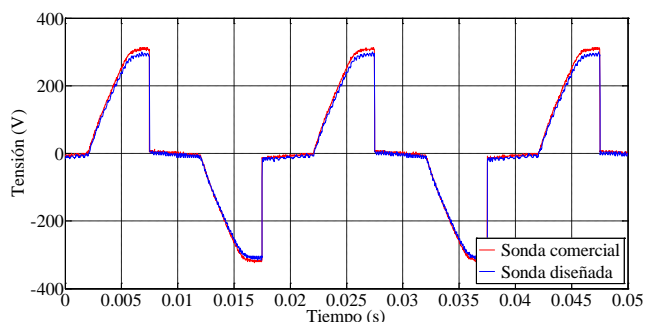


Fig. 13. Capturas de la tensión en un triac mediante una sonda comercial y las presentadas en este trabajo.

Se puede observar cierta diferencia entre valor de pico de la señal capturada por la sonda presentada en este trabajo (304 V) y la comercial (312 V), esto hace que el error relativo, asumiendo como valor objetivo la medida realizada por la sonda comercial, se encuentre por debajo del 4%.

En cuanto al coste de ambas sondas, la comercial se encuentra en torno a 350 € y la diseñada ad hoc por debajo 100 €. A esa reducción de costes hay que añadir la propia de mantenimiento. De hecho, las sondas comerciales se ha comprobado que tienden a fallar en las escalas con alta atenuación, haciéndolas por tanto inservibles para la medida de bajos valores de tensión.

B. Sonda Aislada de Corriente

El desarrollo de la sonda aislada de corriente se observa en la Fig. 14. De la misma forma que en la sonda anterior también se pueden identificar los diferentes sub-circuitos que componen el diseño completo.

Siguiendo la metodología anterior, se realiza una prueba similar a la presentada para la sonda de tensión. En este caso la resistencia empleada para la medida con la sonda comercial es sustancialmente mayor, puesto que al ser una sonda diseñada para la medida de tensiones elevadas necesita una caída de tensión mayor en bornes de la resistencia ($10\ \Omega$) con el fin de mejorar la relación señal ruido, este valor que interfiere significativamente en el circuito.

Los resultados obtenidos de la comparación se muestran en la Fig. 15. En ella podemos observar en rojo la medida con la sonda comercial, en esta medida se aprecia cantidad elevada de ruido a pesar de trabajar con un *shunt* muy alto ($10\ \Omega$), mientras que en azul se muestra la corriente en el triac con una señal muchos más limpia y sin nivel de offset.

En la medida con la sonda comercial se obtiene un valor de pico de 444 mA, mientras que con el diseño específico propuesto se mide un valor de 456 mA. En consecuencia, se puede concluir que la precisión conseguida con el diseño ad hoc es suficiente para los objetivos docentes propuestos.

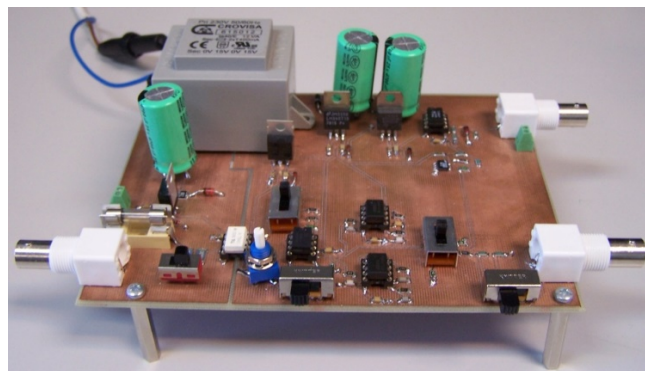


Fig. 14. Implementación física de la sonda aislada de corriente.

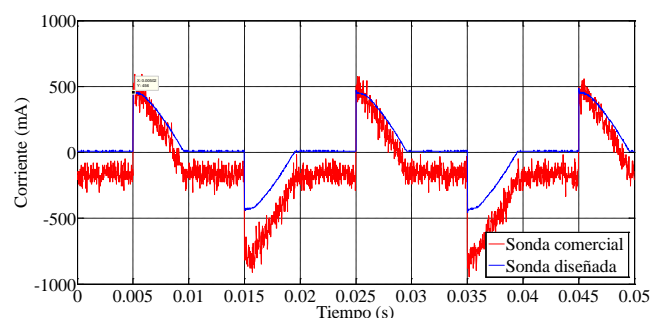


Fig. 15. Esquema de circuito de la etapa de entrada para la sonda aislada de corriente.

IV. CONCLUSIONES

Se han diseñado dos sondas aisladas, una de tensión y una de corriente, cuyo funcionamiento se ha comprobado y verificado. Las figuras de las capturas obtenidas muestran que los resultados conseguidos son adecuados para un laboratorio docente puesto que prima la posibilidad de poder ver experimentalmente el funcionamiento de los sistemas y contrastar los datos con las formas de onda estudiadas en el aula.

Además, los diseños propuestos presentan facilidad de uso, una gran mantenibilidad e integran diferentes circuitos de protección que previenen el deterioro de los equipos frente al mal uso o a los errores debidos a la inexperiencia de los estudiantes.

Los resultados en la comparación con la medida de las ondas de tensión aisladas comercial y ad hoc no presentan diferencias significativas en los rangos de trabajo para los que ha sido concebidas.

El diseño de la sonda de corriente propuesta posibilita operar con valores de inserción tipo *shunt* mucho menores que con la sonda comercial de tensión. Con ello se logra interferir significativamente menos en el circuito donde se realiza la medida. Además, a pesar de trabajar con un *shunt* mucho menor, la señal de salida de la sonda propuesta resulta mucho más limpia, sin tan apenas ruido, frente a la medida con la sonda comercial.

REFERENCIAS

- [1] "Asignaturas del plan del Grado en Ingeniería Eléctrica," [En línea]. Disponible en: https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2019&estudio_id=20190146¢ro_id=110&plan_id_nk=430&sort=curs o.
- [2] "Asignaturas del plan del Grado en Ingeniería Mecatrónica," [En línea]. Disponible en: https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2019

&estudio_id=20190150¢ro_id=175&plan_id_nk=424&sort=curs
o.

- [3] "Linear & Switching Voltage Regulator Handbook," ON Semiconductor, 2002.
- [4] "Isolation Types and Considerations When Taking a Measurement». National Instruments.
- [5] S. Franco, "Design with operational amplifiers and analog integrated circuit," New York: McGraw Hill, 2001.
- [6] J. G. Webster, "The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook," CRC Press LLC, 1999.
- [7] M. Á. Pérez García, "Instrumentación Electrónica," Asturias, Ediciones Paraninfo, 2014.
- [8] "ISO122 Low-Cost Precision Isolation Amplifier, Datasheet," Texas Instruments, ene-2015.
- [9] "ISO124 Precision Isolation Amplifier, Datasheet," Texas Instruments, jun-2018.
- [10] "HCPL-7840 Isolation Amplifier, Datasheet", Broadcom, 09-jul-2012.
- [11] "INA217 Low-Noise, Low-Distortion Instrumentation Amplifier Replacement for SSM2017, Datasheet," Texas Instruments, nov-2015.

Curación de Contenidos y Entornos Personales de Aprendizaje como herramienta de aprendizaje en Ingeniería Electrónica

Juan D. Aguilar-Peña, C. Rus-Casas, G. Jimenez-Castillo
Departamento Ingeniería Electrónica y Automática
Escuela Politécnica Superior de Jaén.
Universidad de Jaén. Jaén (España)
jaguilar,crus,gjimenez@ujaen.es

D. Eliche-Quesada, M. la Rubia-García
Departamento Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales
Escuela Politécnica Superior de Jaén.
Universidad de Jaén. Jaén (España)
deliche,mrubia@ujaen.es

Abstract— Se presentan los resultados de varios proyectos de innovación docente, realizados con alumnos universitarios en el marco de asignaturas del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial, utilizando los Entornos Personales de Aprendizaje y la Curación de Contenidos como herramienta de mejora para la adquisición de la competencia en TIC y aprendizaje de contenidos técnicos relacionados con las temáticas tratadas en las distintas asignaturas.

Keywords- Entorno personal de aprendizaje, PLE, aprendizajes informales, innovación docente; curación de contenidos, enseñanza superior

I. INTRODUCCIÓN

Los Entornos Personal de Aprendizaje (PLE), y la Curación de contenidos (CC), podrían ser herramientas de formación en la educación universitaria. En el ámbito de la tecnología educativa, los “PLEs” han sido definidos por varios autores especialistas desde distintos puntos de vista [1],[2], de igual manera el concepto de “CC” también aparece reflejado en distintas referencias [3],[4].

En el ámbito universitario no son términos comúnmente usados, aunque en los últimos años se pueden encontrar algunos trabajos relacionados con los PLEs en el ámbito de la docencia [5],[6], y en concreto pocos relacionados con la ingeniería [7]-[9].

Una de las partes más importante del “PLE” es la búsqueda de información y recursos, pero la demanda de contenidos con calidad no puede ser sólo satisfecha por los buscadores de la Red, y es necesario que personas con conocimientos del tema concreto filtren y compartan la información de interés.

Buscar en Internet es complejo, la cantidad de información se multiplica de manera exponencial. La abundancia de información que se recibe al estar permanentemente conectado puede conducir a un problema denominado “infoxicación” lo que genera ansiedad y confusión [10]. En este sentido, el aprendizaje continuo y autónomo, depende de habilidades tales como, búsqueda, organización y tratamiento de la información, apareciendo en este contexto la figura del “curador de contenidos”, que será el encargado de seleccionar

la información de calidad relacionada con un tema.

Guallar & Leiva proponen un método de curación de contenidos en cuatro fases: búsqueda, selección, caracterización y difusión de la información[11].

En [12] se realiza una revisión sobre distintos estudios empíricos de aplicación de la “CC” en ámbitos educativos, identificando objetivos, herramientas tecnológicas y resultados obtenidos, poniendo de manifiesto el gran potencial educativo.

No cabe la menor duda, de que la innovación docente permite que evolucione, se transforme y se mejore la enseñanza universitaria, garantizando su calidad. En este marco cada universidad publica convocatorias de proyectos encaminadas a promover y apoyar estos cambios, evaluando entre otros aspectos: la satisfacción del docente y del alumnado; incorporando metodologías docentes activas, mirando en última instancia las mejoras en las tasas de éxito y rendimiento en las distintas asignaturas incluidas en dichos proyectos de innovación docente [13], [14].

En esta comunicación se describe la experiencia puesta en marcha por profesores de áreas tecnológicas con alumnos de ingeniería, aplicando los dos conceptos anteriores de “PLE” y “CC” dentro del marco de varias asignaturas como proyecto de innovación docente, con el fin de mejorar la adquisición de la competencia en TIC y aprendizaje de contenidos técnicos relacionados con cada una de ellas.

Esta comunicación se ha estructurado como sigue: en primer lugar, se presenta la introducción, en la que se explica de manera resumida en qué consiste este tipo de tecnologías emergentes en educación superior, seguidamente en el capítulo II y III se abordan los objetivos planteados, para posteriormente en el capítulo IV, analizar la metodología seguida en las distintas fases relacionadas con el profesor y con el alumno, junto con el listado de las distintas herramientas informáticas por las que finalmente se ha optado. En el apartado V de evaluación se describe el proceso seguido para realizar los cuestionarios que se pasarán a los alumnos y que determinan la parte del grado de satisfacción del

alumnado, junto con distintas valoraciones. Para finalmente exponer algunos resultados y conclusiones.

II. OBJETIVOS

Es necesario fomentar la construcción en nuestros estudiantes de su entorno personal de aprendizaje, particularizando en los contenidos de la asignatura que se está impartiendo y paralelamente potenciar la adquisición de la competencia digital junto con la de "aprender a aprender". Aprender de forma colaborativa, gestionar la información y desenvolverse de manera óptima y autónoma en los medios digitales. La "CC" forma parte de este proceso y ayudara a desarrollar las competencias anteriores.

Como objetivos más específicos detallamos:

- Identificar e integrar herramientas y/o servicios que tanto el profesor como el alumno pueda utilizar y ayudar a diseñar, producir y evaluar un PLE.
- Clasificar los recursos encontrados según tipo y tema.
- Crear entorno personal de aprendizaje.
- Introducir y trabajar el concepto "CC" como herramienta de aprendizaje, concienciando al futuro profesional de la importancia de una adecuada selección de la información disponible.
- Realizar "CC", sobre distintos temas relacionados con la electrónica de potencia, sistemas electrónicos, sensores y establecer lazos con las empresas relacionadas.
- Divulgar y compartir los recursos usando distintos medios.

Para todo esto, se hará uso de herramientas TIC, generando conocimiento de forma colaborativa, mediante la introducción del concepto de "PLE" y la "CC", en el futuro profesional, durante el proceso de formación de ingenieros en las titulaciones involucradas en la experiencia educativa.

III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo se enmarca dentro de varios proyectos de innovación docente implementados en los últimos cuatro cursos académicos, de 2016 a 2020 en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén. La experiencia trata sobre integración de "PLEs" y la utilización de la "CC" usados como herramientas de formación, mejorando la docencia universitaria en alumnos de ingeniería, con materias relacionadas con la electrónica industrial. Se ha llevado a cabo dentro de las asignaturas del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial (Electrónica de Potencia, y Sistemas de Adquisición de Datos) y del Master de Ingeniería Industrial (Sistemas Electrónicos e Instrumentación Industrial). El número de alumnos involucrados en los distintos cursos académicos es de un total de 174 de Grado y unos 40 en Master, incluido el curso actual 2019/20.

El grupo de trabajo está formado por siete miembros, dos profesoras del área de Ciencias de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, con la intención de extrapolar al final de la experiencia a otras áreas de conocimiento, dos profesores del área de Tecnología Electrónica en la que se encuadran las tres asignaturas implicadas en el trabajo, un becario de doctorado que se implica en las distintas fases, una pedagoga del área de Didáctica y Organización Escolar, junto con un matemático experto en e-learning, entonos personales de aprendizaje y curación de contenidos, de la empresa [conecta13](https://conecta13.com/) [<https://conecta13.com/>]

El trabajo en sus distintas fases se ha presentado en varias comunicaciones, y aquí se presentan los primeros resultados obtenidos [15]-[17].

IV. METODOLOGÍA

A continuación, se comenta las dos fases en las que se ha implementado este trabajo. La primera fase relacionada con las tareas del profesorado y preparación de la experiencia, y la segunda con las tareas a realizar por los alumnos en el aula.

A. Primera Fase

En la figura 1 aparece la descripción de una manera resumida de las tareas relacionadas con el trabajo del profesorado en la primera fase. Como tarea final se analizan los resultados obtenidos y se sacan las conclusiones oportunas.

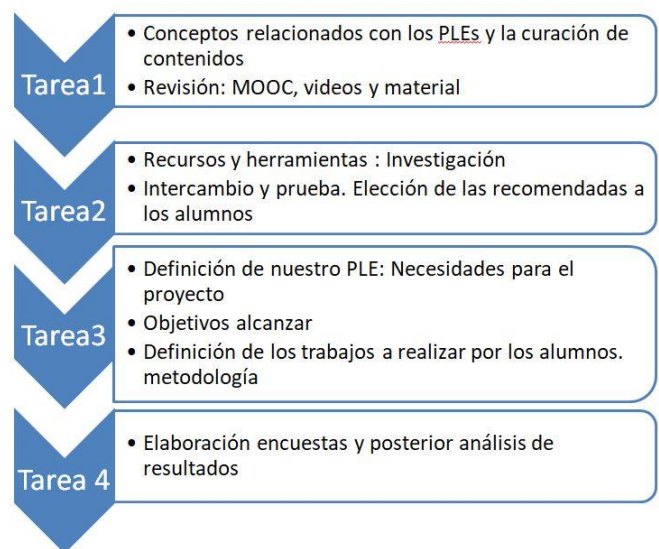


Figura 1.- Primera fase, tareas a realizar por el profesorado

En el inicio de esta fase, tres cursos MOOC han sido interesantes y han aportado información valiosa. "Entornos personales de aprendizaje" [<https://enlinea.intef.es/>], "Content Curation. Ideas Clave" [<https://youtu.be/MXTTDLvt7Bw>] y "Curación y gestión de contenidos digitales" [<https://youtu.be/RiELCTy7qAM>].

Como parte de la tarea del profesorado, es bueno la reflexión previa sobre el propio "PLE" de cada uno de los miembros del equipo, plasmando en un gráfico aquellos elementos, y

herramientas, que utilizamos a diario en nuestro trabajo y en nuestra relación con los demás.

Como ejemplo en la figura 2 se presenta el diagrama del “PLE” de uno de los miembros, en el que aparecen reflejados los distintos bloques del mismo: Elementos utilizados en la búsqueda de información diaria, organización y filtrado de esta información, comunicación con alumnos y otros colegas, generación de recursos y por último herramientas utilizadas normalmente para compartir los recursos generados y debatir la información.

En la figura 3 se observa el Webmix [18] de la herramienta Symbaloo utilizada para la organización del entorno del grupo del grupo de profesores (<https://www.symbaloo.com>) [19],[20], la misma que posteriormente se recomendará a los alumnos. En ella partimos de un entorno vacío personalizado al que le vamos agregando cada una de nuestros contenidos.

Esta primera fase duró todo el primer curso académico, realizándose distintas reuniones de trabajo, donde partiendo de casi cero hemos debatido, y analizado el concepto de “PLE” y “CC”. Finalmente se han diseñado las actividades a realizar con los alumnos en los posteriores cursos académicos y la encuesta para la evaluación de la experiencia



Figura 2.- PLE de miembro del grupo de trabajo.

La segunda fase del trabajo, se realiza en el aula con los alumnos de las distintas asignaturas implicadas, creación de “PLE” y “CC” específicos sobre el tema elegido de entre los inicialmente propuestos. Cada grupo está compuesto por entre 3 y 5 alumnos. En la figura 4 se puede apreciar las tareas principales de esta fase.

B. Segunda Fase:

A partir de la elección del tema correspondiente de entre los propuestos en cada una de las asignaturas, los alumnos se organizan en grupos, en los que deberán realizar, plasmar y ordenar un “PLE” con las distintas herramientas individuales y colectivas, sitios de interés. Realizarán un Webmix de

Symbaloo del entorno de trabajo del grupo y otro particular relacionado con el tema técnico elegido. Se les pide a los alumnos que plasmen las distintas fases del proceso, según el modelo de Guallar y Leiva, búsqueda, selección, caracterización y difusión., y realicen una breve memoria del proceso.

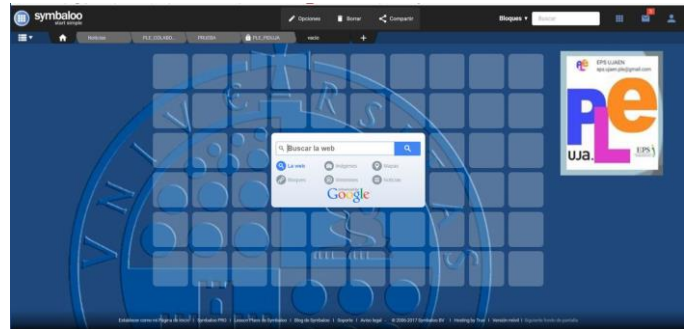


Figura 3.- Entorno de organización de nuestro PLE mediante la herramienta symbaloo (<https://www.symbaloo.com/home/mix/plecolaborativoepsi>)



Figura 4.- Segunda Fase, tareas a realizar por los alumnos

La evaluación final de los alumnos se realiza en base a una rúbrica preestablecida, cuyo resumen es: (1) participación en el grupo de trabajo de acuerdo a las tareas inicialmente desglosadas, (2) participación en el grupo de Facebook o en Google+ de activa, comentarios, aportaciones, y valoraciones del trabajo de los demás compañeros, (3) manejo de herramientas utilizadas, presentadas en el grupo y en el informe final, (4) calidad del material recopilado y comentado, aportaciones y comentarios realizados sobre los mismos, y (5) informe final presentado del grupo (10-15 páginas), sobre la distribución del trabajo en grupo, la evolución, herramientas, selección de enlaces y comentarios del entorno general de trabajo, y del proceso seguido en la curación de contenidos del tema.

En las figuras 5 y 6 podemos ver como ejemplo los entornos de trabajo de dos grupos de clase, dónde se aprecia la

clasificación y distribución de las distintas partes del “PLE” agrupados convenientemente.

También se muestra como ejemplo en las figuras 7 y 8 dos Webmix de dos grupos de trabajo sobre los temas, electrónica de potencia y diodos led de potencia: En el primero aparecen distintos bloques relacionados como historia, dispositivos electrónicos, aplicaciones y en el segundo de led, conceptos, convertidores dc-dc, driver, fabricantes, etc. Estos trabajos se van comentando por los alumnos en el grupo de trabajo a medida que se desarrollan y se aprecia la evolución de cada grupo. Durante toda esta segunda fase ha habido un intercambio de información flujo entre el profesor y los alumnos y entre los propios alumnos del grupo. La ventaja de utilizar una herramienta como Facebook, con la que habitualmente trabajan es la cercanía y el conocimiento sobre la misma.

TIC, enumeramos en la tabla 1 las herramientas utilizadas por los alumnos.



Figura 7.- Entorno de trabajo organizado sobre la curación de contenidos sobre conceptos de electrónica de potencia

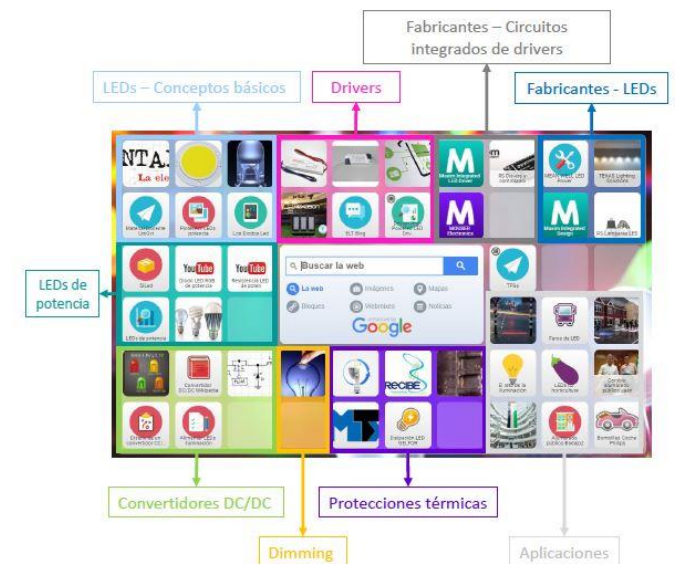


Figura 8.- Curación de contenidos grupo de trabajo led de potencia, con comentarios de los distintos bloques

TABLA 1.- HERRAMIENTAS TIC UTILIZADAS POR LOS ALUMNOS

Entorno de trabajo y organización	
Symboloo (Webmix “PLE” y de “CC”)	
Búsqueda de información	
Google ; Google académico: http://scholar.google.es/	
Científico: http://www.scienceresearch.com/scienceresearch/	
Componentes Electrónicos : https://www.alldatasheet.es/	
Selección, almacenamiento temporal	
Pocket: https://getpocket.com/ y Drive	
Feedly, como lector de RSS: https://feedly.com/	
Diigo: http://www.diigo.com	
Caracterización de la información	
Scoop It: https://www.scoop.it/	
Compartir la información	
Facebook: https://www.facebook.com/	
Google+: https://plus.google.com/u/1/	

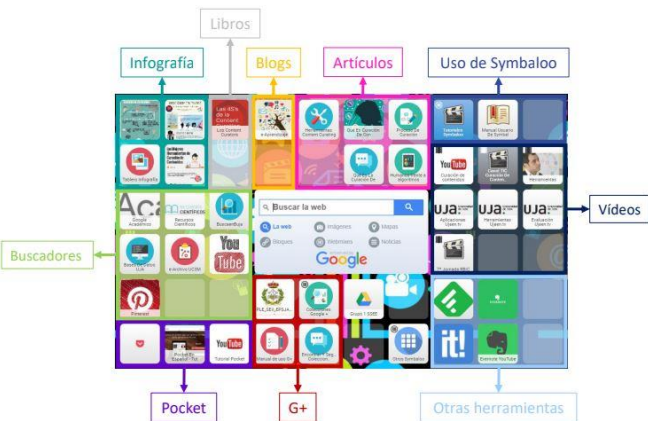


Figura 5.- Webmix Entorno personal de un grupo de trabajo construido con symboloo como herramienta de organización



Figura 6.- Webmix organización del PLE distribuido en sus distintas partes

Aunque en trabajos previos presentados en TAAE [16] ya se hacía una descripción detallada de algunas de las herramientas

V. EVALUACIÓN

Es necesario obtener una realimentación del proceso mediante la creación de encuestas en distintos sentidos: para realizar una evaluación de las actividades, y para mostrar la participación de los alumnos en las actividades propuestas. También se hace imprescindible un análisis de las tasas de rendimiento y éxito de alumnos.

Para la evaluación global de la experiencia se diseña un cuestionario basado en cuestionarios de otros autores con experiencia en el uso de "PLEs" con estudiantes universitarios [21], como cuestionarios que recogen la percepción de los estudiantes y herramientas utilizadas, en la curación de contenidos [22]. El cuestionario final se divide en tres bloques: (a) Cuestiones relativas a las estrategias y procesos cognitivos del aprendizaje; agrupadas en 4 dimensiones básicas, tal y como aparecen en la tabla 2 con los distintos conceptos que hemos tratado en cada una de ellas, (b) herramientas informáticas utilizadas y su valoración en la ejecución del trabajo, y (c). Valoración general de la actividad desarrollada, valoración particular de las actividades en las asignaturas, metodología seguida y proyección.

TABLA 2.- DIMENSIONES INCLUIDAS EN EL CUESTIONARIO, ENTRE CORCHETES EL NUMERO DE ITEMS DE CADA PARTE

DEMOGRAFIA (ASIGNATURA, EDAD, SEXO) [3]
RELATIVO AL PLE: DIMENSIÓN [8]
<i>AUTOPERCEPCIÓN</i>
Motivación intrínseca
Conocimientos previos
Autopercepción
<i>GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN</i>
Procesamiento de la información
Gestión de la información
Organización de la información
Recuperación de la información
Creación de la información
<i>GESTIÓN DEL PROCESO DE APRENDIZAJE</i>
Pensamiento crítico
Aprendizaje abierto
<i>COMUNICACIÓN</i>
Comunicación
Participación y trabajo en equipo
HERRAMIENTAS [7]
VALORACIONES [13]
Valoración general
Valoración particular
Implicación del profesorado
Metodología utilizada
Proyección

Queda finalmente un total de 31 preguntas, distribuidas en: tres preguntas del tipo caracterización demográfica, ocho preguntas relacionadas con los PLEs, siete preguntas relacionadas con el manejo de herramientas, y trece preguntas relacionadas con la valoración general y particular, en las que se incluye la valoración de la implicación del profesorado en

la experiencia. Al final del cuestionario el alumno puede dejar sus impresiones en una pregunta de tipo abierto.

La distribución porcentual de todo el cuestionario por bloques aparece reflejada en la figura 9, siendo el apartado de valoración de la experiencia en sus distintas facetas el que aporta más con un 42% del total.

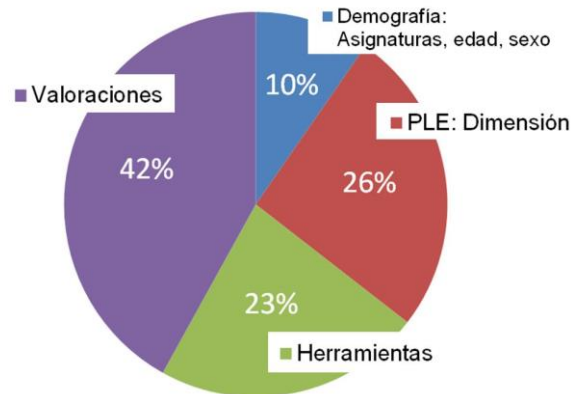


Figura 9.- Distribución porcentual de preguntas cuestionario alumnos dividido por bloques.

La mayoría de las cuestiones planteadas tienen formato de respuesta tipo Likert, con 5 opciones y alguna de elección múltiple, tipo marca todo lo que corresponda.

Otro aspecto muy importante a analizar es la evolución de las tasas de rendimiento y éxito para las asignaturas que han participado en este proyecto, en los últimos cursos académicos

VI. RESULTADOS

A continuación, trataremos de resumir y presentar algunos de los resultados obtenidos y conclusiones provisionales a la espera de un análisis más profundo al finalizar la experiencia en este curso académico 2019/20.

El número total de alumnos, hasta el momento, que han participado en las encuestas es de 70, un 40.2% del total de participantes, con una distribución por asignaturas mostrado en la figura 10.

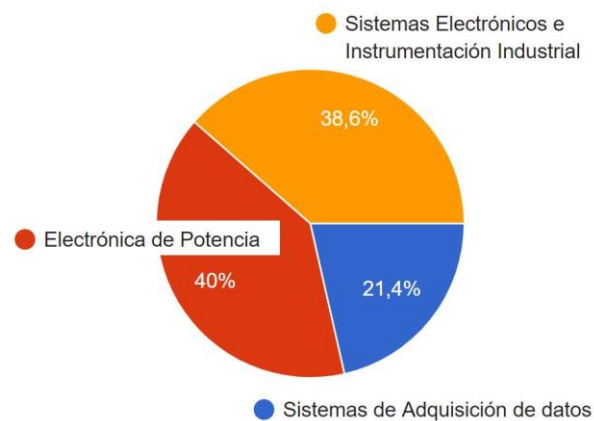


Figura 10.- distribución de alumnos participantes en la encuesta

Alumnos del Máster de Ingeniería Industrial (SEII) 27 (38,6%), del Grado Electrónica Industrial (EP) 28 (40%) y (SAD) 15 (21,4%), pendientes de incorporar los resultados del curso actual.

Algunos resultados muestran como:

Los alumnos utilizan la red en su mayoría como medio de comunicación (47,1%), información (61,5%), trabajo (35,7%) y ocio (48,5%). Cuando quieren aprender algo nuevo o aclarar dudas acuden a, tutoriales en video y presentaciones (85,7%), blog y página Web (77%).

La utilización de carpetas en la “nube” es mayoritaria para organizar el material recopilado con un 65,7%, para la gestión de proyectos en grupo es Google Drive el más utilizado por encima del 85%, y utilizando como herramienta de comunicación el chat y correo electrónico con un 57,1% y 52,9% respectivamente.



Figura 11 Distribución a la pregunta, valora tu experiencia en relación al uso de las herramientas utilizadas en la asignatura

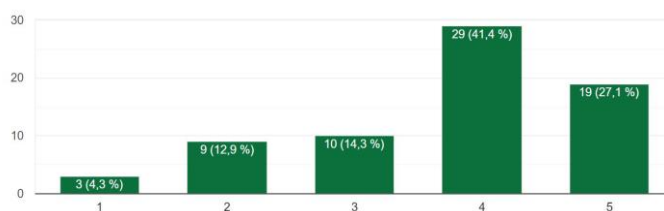


Figura 12.- Valoración experiencia realizada construyendo tu PLE

Las herramientas utilizadas reciben una valoración por encima del 70% buena, muy buena e inmejorable tal y como se aprecia en la figura 11, y valoración global que les merece el trabajo realizado 60% buena o muy buena. La valoración global de la experiencia de construcción del PLE ha sido positiva con un 68,5% buena y muy buena. En cuanto a la valoración global de la práctica el 54,3% lo hace como buena o muy buena, frente el 26% de mala o muy mala; con un valor de media de 3.26. Es importante destacar que mayoritariamente las bajas puntuaciones están en la asignatura del Máster, y la franja superior en las del grado, lo

que corrobora las impresiones comentadas por algunos de los profesores durante la realización de la misma.

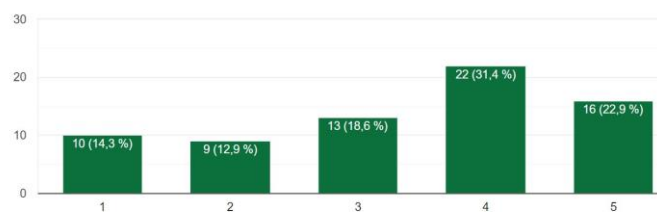


Figura 16.- Valoración global de la práctica

La curación de contenidos es interesante para más del 64% de los alumnos, permitiéndole progresar adecuadamente en la adquisición de las distintas competencias y que les pueden ser útiles en su futuro profesional.

Después de un análisis detallado en los últimos cuatro cursos académicos de la evolución de las tasas de rendimiento y éxito en las asignaturas, a la espera de las conclusiones finales al término de este curso académico 2019/20, se presentan algunos datos y consideraciones.

En la asignatura de Electrónica de Potencia, se aprecia una bajada del 58 al 42% del número de alumnos no presentados en los cursos 17/18 y 18/19 respectivamente; aunque con respecto de los tres cursos anteriores se nota un ligero incremento, lo que no permite sacar unas conclusiones claras al respecto. Si se aprecia un incremento de la tasa de rendimiento pasando del 38 al 53% para estos mismos cursos académicos, manteniéndose la tasa de éxito cercana al 93%. Con respecto de la asignatura del máster de ingeniería las tasas de éxito comprendidas entre 96-100% y tasas de rendimiento 65-74% se han mantenido, notándose que el trabajo ha sido peor acogido, con falta de motivación, y unos resultados peores en las encuestas, causa que habrá que analizar de una manera más sosegada.

VII. CONCLUSIONES

En este proyecto, han participado profesores de distintos departamentos y personas con formación en distintas áreas de conocimiento, lo que ha enriquecido el intercambio de información, el debate previo y posterior establecido. Además, el contar dentro del grupo con una experta en pedagogía y un matemático experto en e-learning, para la creación de entornos personales de aprendizaje y curación de contenidos, ha servido para que el profesorado que trata de llevar a cabo el proyecto en el aula contase con conocimientos previos impartidos en seminarios y la tranquilidad de contar con el respaldo y apoyo necesario.

Para la evaluación global de la experiencia se han realizado cuestionarios que nos muestran el nivel de satisfacción de los estudiantes, así como las revisiones de las memorias finales de los alumnos que reflejan la evolución de su trabajo.

La valoración de uso de herramientas TIC utilizadas resulta en general muy buena para los alumnos, y la “CC” es interesante para el aprendizaje. En cuanto a la valoración global de la práctica ha sido positiva, aunque mejorable.

Es importante destacar, y motivo de reflexión, que las bajas puntuaciones, mayoritariamente proceden de la asignatura del máster. Pudiera ser debido a dos motivos, por una parte, a que el profesorado no ha sido capaz de motivar al alumnado y, por otra parte, que los propios alumnos han percibido el trabajo como una sobrecarga por el tiempo dedicado.

Esta experiencia ha ayudado a comprender y profundizar en los conceptos relacionados con “PLEs” “CC” y en su enfoque pedagógico; manejo de distintas herramientas que se encuentran en Internet, analizando su posible aplicación en el aula universitaria.

Como resultado final decir que el grado de satisfacción del profesorado ha sido alto y con una gran motivación en la participación de parte del alumnado que ha realizado trabajos realizados de gran calidad. Podemos decir que esta experiencia ha concluido con cierto éxito.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se está realizando en el marco de dos proyectos de innovación financiados por la Universidad de Jaén a través del Vicerrectorado de Coordinación y Calidad de las Enseñanzas.

REFERENCIAS

- [1] L. Castañeda and J. Adell, Entornos personales de aprendizaje: claves para el ecosistema educativo en la red. Alcoy: Marfil, 2013.
- [2] C.Coll, A.Engel, A.Saz & A. Bustos (2014) Personal learning environments: design and use / Los entornos personales de aprendizaje en la educación superior: del diseño al uso, Culture and Education, 26:4, 775-801, DOI: 10.1080/11356405.2014.985935
- [3] J.Guallar y J. Leiva-Aguilera. El content curator. Guía básica para el nuevo profesional de internet. Barcelona: Ed. UOC, 2013.
- [4] R. Bhargava. Manifiesto for the content curator: The next big social media job of the future? The Influential Marketing Blog.2009. [Recuperado de <http://www.rohitbhargava.com/2009/09/manifiesto-for-the-content-curator-the-next-big-social-media-job-of-the-future.html>]
- [5] J. Ruiz-Palmero, J. Sánchez Rodríguez y M. Gómez García. Entornos personales de aprendizaje: estado de la situación en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Málaga. Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación, N° 42 Enero 2013 - pp.171-181
- [6] M.Area & A.L. Sanabria, Changing the rules: from textbooks to PLEs / Cambiando las reglas de juego: de los libros de texto al PLE, Culture and Education,26:4,802-829,(2014)
- [7] P. R. Humanante, F. J. García-Peñalvo y M.A. Conde. Entornos Personales de Aprendizaje y Aulas Virtuales: una Experiencia con Estudiantes Universitarios. VAEP-RITA Vol. 1, Núm. 4, Dic. 2013
- [8] G.A.Moreno, J.A. Jimenez, W.S.Puche, Modelo De Entorno De Aprendizaje Personal Ubicuo (uPLEMO). Actas XII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAE 2016. Sevilla [Recuperado <http://taee.etsist.upm.es/actas/2016/papers/2016S4BA04.pdf>]
- [9] Patricio Ricardo Humanante-Ramos, Francisco José García-Peñalvo y Miguel Ángel Conde-González. PLEs en Contextos Móviles: Nuevas Formas para Personalizar el Aprendizaje. VAEP-RITA Vol. 4, Núm. 1, Mar. 2016
- [10] Cornellá, Alfons. Principio de la infoxicación. En Jorge Juan Fernández García. Más allá de Google (pp. 19-22). Barcelona: Zero Factory SL.2008.[Recuperado de <http://libros.metabiblioteca.org/handle/001/205>]
- [11] J. Guallar and J. Leiva-Aguilera, “Las 4 s’s de la content curation,” in El content curator: guía básica para el nuevo profesional de Internet, 2013.
- [12] D. Juárez, C.A. Torres, Las posibilidades educativas de la curación de contenidos: Una revisión de literatura. Revista de innovación educativa. Vol. 9, Núm. 2 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v9n2.1046>
- [13] M. Guerrero and M. López, “Criterios para la Evaluación de los Proyectos de Innovación Docente Universitarios/Evaluation Criteria forUniversity Teaching Innovations Projects,” Estud. Sobre Educ., vol. 26, pp. 79–101, 2014.
- [14] T. Mauri, 1950- Coll César, and J. Onrubia Goñi, “La evaluación de la calidad de los procesos de innovación docente universitaria. Una perspectiva constructivista,” RedU. Rev. Docencia Univ., pp. 1–11, 2007.
- [15] J.D.Aguilar-Peña, C. Rus Casas, A D Álvarez-Jiménez, M A Peña-Hita C1-017. Entornos Personales de Aprendizaje. Experiencias con alumnos de ingeniería. Comunicación presentada en las Jornadas Virtual USATIC 2018.
- [16] J. D. Aguilar-Peña, C. Rus-Casas, D. Eliche-Quesada, M. D. La Rubia and D. Álvarez-Jiménez, "Personal Learning Environment for Educational Training in Higher Engineering Education," 2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE), La Laguna,2018, pp. 1-7. DOI:
- [17] C. Rus-Casas, C., et al. Experience in developing personal learning environments for the subject systems of data acquisition. Proceedings of 2018 Technologies Applied to Electronics Teaching, TAE 2018 DOI: 10.1109/TAE.2018.8476040
- [18] ¿Qué es un Webmix de Symbaloo? <https://es.help.symbaloo.com/portal/kb/articles/%C2%BFQu%C3%A9-es-un-webmix-27-3-2018> [En línea 25/4/20120]
- [19] A. Delgado. Organizando la docencia y el aprendizaje con Symbaloo. A: JENUI 2015. "Actas del simposio-taller sobre estrategias y herramientas para el aprendizaje y la evaluación". Universitat Oberta La Salle ed. Andorra la Vella: Universitat Oberta La Salle, 2015, p. 38-45. [Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/77479>]
- [20] P. Biel, E.Pérez, C.Rodrigo & A.Serrano. Use of Symbaloo Edu for Improving Information Management Processes in Work by Modules. Journal of Cases on Information Technology (JCIT), 18(4), 22-35. (2016). DOI:10.4018/JCIT.2016100102
- [21] P. Prendes, L. Castañeda, I. Gutiérrez, and M. M. Sánchez, “Personal Learning Environments in Future Professionals: Nor Natives or Residents, Just Survivors,” Int. J. Inf. Educ. Technol., vol. 7, no. 3, pp.172–178, 2017
- [22] M.J.Romero. Iniciación a la curación de contenidos en la universidad: una experiencia en el área de psicobiología. RED-Revista de Educación a Distancia, núm. 49, (2016). <http://dx.doi.org/10.6018/red/49/6>

Perspectiva desde el ámbito de la ingeniería para la formación en redes inteligentes

Ángeles Verdejo Espinosa
Department of Electrical Engineering
University of Jaen
mverdejo@ujaen.es
ORCID 0000-0002-7998-553X

Catalina Rus Casas
Department of Electronic Engineering
University of Jaen
crus@ujaen.es
ORCID 0000-0002-6982-4054

Macarena Espinilla Estevez
Department of Computer
University of Jaen
mestevez@ujaen.es
ORCID 0000-0003-1118-7782

María Dolores Ruiz Lozano
Andalusian Council for Education and
Science
mdruilo@decsai.ugr.es
ORCID 0000-0001-7375-9497

Carmen Martínez Cruz
Department of Computer
University of Jaen
cmcruz@ujaen.es
ORCID 0000-0002-8117-0647

Abstract— La formación en redes inteligentes en el ámbito académico de las disciplinas de ingeniería eléctrica, electrónica, informática, entre otras, se ha convertido en campo de estudio e investigación muy solicitado por el alumnado de Grado y Máster. Cuando se muestra el amplio abanico de áreas y campos de trabajo que ofrecen las Redes Inteligentes surgen ideas, propuestas y trabajos innovadores, sorprendentes y multidisciplinarios. En este trabajo se pretende analizar cómo se aborda la formación en redes y sistemas inteligentes en la Escuela Politécnica Superior de Jaén y se exponen propuestas para ampliar y complementar dicha formación.

Keywords—Redes Inteligentes, Smart Grids, entornos inteligentes, docencia en grado y máster, innovación docente

I. INTRODUCCIÓN

La formación en redes inteligentes (RI), en inglés Smart Grids (SG) engloba un contexto amplio de disciplinas y áreas y se está experimentando una reestructuración impulsada por las necesidades de una profesión multidisciplinar [1]. Las infraestructuras eléctricas y energéticas requieren de mayor control, sistemas de sensores, monitorización, automatización y las RI requieren un espacio formativo integral desde los centros de investigación y universidades. Se requieren equipos multidisciplinarios y revisión de las guías docentes para adaptarlas al mundo cambiante y tecnológico al que nos enfrentamos. [2]

Además de la estricta formación de títulos oficiales, existen una variedad de cursos, posgrados y programas que ofrecen información y especialización sobre RI. Desde hace 5 años, a través de los Planes de Divulgación Científica y la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación de la Universidad de Jaén (UCCi-UJA), se planificó un curso sobre “Redes Inteligentes para una sociedad tecnológica, sostenible y humana” [3].

La idea de este curso, que se planteó como una conferencia de divulgación científica fue la de acercar al público general, no sólo a alumnado de ingenierías o máster, el conocimiento sobre la estrategia de diseño, innovación e investigación de RI. Debido a la aceptación que tuvo el interrelacionar un aspecto de alta tecnología e ingeniería con la sociedad y la humanización de los avances tecnológicos. Así, se planteó en acercarlo al alumnado de grados de ingeniería eléctrica y dobles grados eléctrico-electrónicos y eléctrico-mecánicos e informáticos, además de a alumnado de la asignatura de máster de arquitectura e ingeniería y otras. [4]

La formación en RI se ha convertido en un tema introductorio, con contenido teórico y práctico en las

asignaturas de Accionamientos Eléctricos y Electrónica de Potencia, Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, Eficiencia y Ahorro Energético, Área de Ingeniería y Arquitectura, TFG y TFM, entre otras.

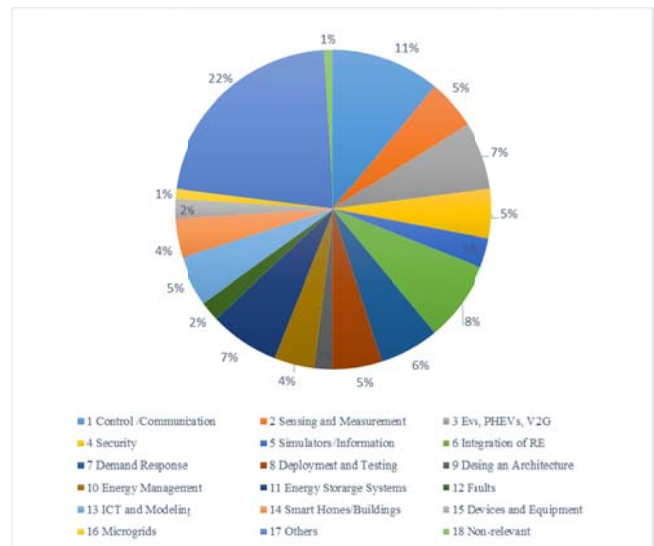


Fig. 1. Investigación de tecnologías Smart Grid. Tuballa, 2016 [24]

Con este trabajo se pretende visibilizar la incidencia de la formación en RI en los estudios de grado en ingeniería en la Universidad de Jaén, concretamente en la Escuela Politécnica Superior (EPSJ), en algunas de las disciplinas en las que más inciden las investigaciones e implementaciones en RI: ingeniería eléctrica, electrónica industrial e informática. Analizaremos las guías docentes y memorias de grado para encontrar sinergias en los contenidos relacionados con las RI. Una vez analizada la incidencia de esta formación, propondremos algunas estrategias y propuestas de mejora para amplificar dicha formación en las disciplinas y grados que se han examinado.

Según las fuentes analizadas, en el campo de investigación, desarrollo, innovación en RI es primordial aunar esfuerzos y equipos multidisciplinarios [6]. Desde el ámbito educativo, debemos apostar por estos retos para la sociedad cuánto antes [7][8][9][10][11]. La evolución de los sistemas de energía a las redes inteligentes tiene implicaciones importantes para la educación universitaria y en la realización de su desarrollo curricular y también para el progreso social y el impacto de la tecnología como vector de mejora de la vida de las personas [12] [13].

Además de la inclusión progresiva en programas formativos oficiales y de grado, se debe planificar un conjunto de cursos de pregrado y postgrado a profesorado y alumnado con el objetivo de adaptar la evolución natural de la tecnología y dispositivos integrados en las RI. Algunos de estos cursos y seminarios se han realizado bajo numerosos proyectos europeos en la Universidad de Jaén [14] [15].

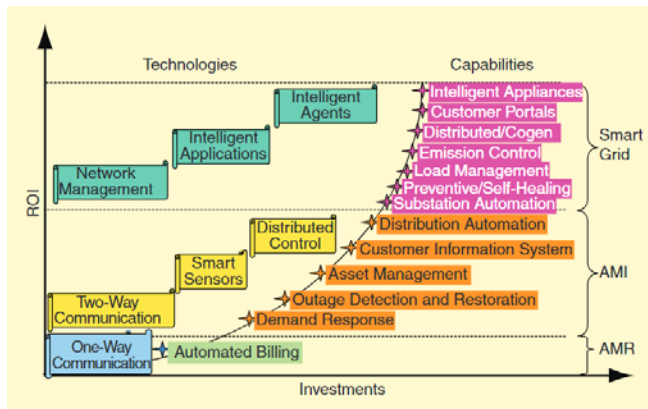


Fig.2. Smart Grid model. Fte: Hassan Farhangi. 2010. [16]

En la figura 2 podemos ver uno de los modelos de arquitectura de RI en el que integra de forma mallada tanto los aspectos de diseño eléctrico-electrónico de los componentes y dispositivos de la red, cómo los elementos que implementan las tecnologías informáticas y de automatización y monitorización, tales como sensores, redes inalámbricas, etc [16].

Según Pedro Ponce, en su análisis del sistema educativo y la RI, en la formación se debe estar expuesto a un marco metodológico en el que todas las consultas se analicen de manera efectiva, revisadas y mejoradas y posteriormente se propone a profesorado los cambios y mejoras y se insta a los estudiantes a confiar en una metodología similar a la investigación para evaluar las propuestas de manera sistemática y discutir sus hallazgos, cómo parte del trabajo de un equipo de investigación [17].

Este artículo está organizado de la siguiente forma: en la Sección I se realiza la introducción y análisis sistemático de la literatura, en la Sección II se describe la metodología, en la Sección III se exponen los análisis que sobre las RI se están realizando en la EPSJ, en la Sección IV se explican los resultados obtenidos y las propuestas.

II. METODOLOGÍA

En la conferencia internacional sobre Smart Grids for Smart Cities [18], celebrada en Bélgica en 2018, se expusieron los indicadores sobre la interrelación y la convergencia de las infraestructuras de datos y energía que permitirá diseñar una vida mejor para la ciudadanía en las ciudades inteligentes.

Las redes inteligentes demuestran ser un facilitador real de tales ciudades, al integrar una alta penetración de energía renovable, facilitar el transporte eléctrico, permitir edificios inteligentes y empoderar al usuario final en la escena energética; creando un estilo de vida sostenible para el ciudadano del siglo XXI con conciencia ecológica.

En las conclusiones de la conferencia [18] se puso de manifiesto que todos los esfuerzos en el diseño, arquitectura e investigaciones en RI serán en vano si no se construye e

implementan todas estas transiciones y transformaciones hacia prospectivas de nivel industrial, académico y político.

Es una evidencia que el nivel académico es un punto clave para que se lleve a cabo alcanzar los objetivos. Este hecho, nos ha llevado a proponer este trabajo de análisis del índice de penetración del conocimiento y avances en RI en tres grados de ingeniería en la Universidad de Jaén.

La selección de estos tres títulos viene motivada por el hecho de que se han analizado diversas fuentes de información y en la mayoría de ellos se centran en las disciplinas de energía, ingeniería eléctrica-electrónica e informática [19][20][21].

En algunas de las fuentes referenciadas se analizan los principales retos futuros en el ámbito de la educación tecnológica, los cuales consideran diferentes ejes: técnico, económico, social y político. Todos ellos estructurados bajo el paraguas de la eficiencia energética, redes inteligentes y sistemas de energía, e integración de energías renovables [22].

Se han analizado diversas fuentes de la base de datos WOS, para filtrar trabajos y estudios con el objeto de determinar los indicadores que ayuden y orienten sobre las áreas de estudio más relevantes. Así, se han obtenido los datos que se observan en la figura 3. Como podemos observar, las principales áreas en las que se analiza la educación universitaria en RI son: Investigación Educativa, Ingeniería, Combustibles energéticos y Ciencias de la computación.

Con este filtrado, hemos extraído cuáles son los indicadores clave que se tienen en cuenta de forma más frecuente en la Educación Universitaria en RI, para trasladarla a la búsqueda que hemos realizado en la metodología propuesta con el fin de extraer posteriormente conclusiones relevantes.

RESEARCH AREAS	Number of Sources	%
Education Educational Research	31	100,00%
Engineering	30	96,77%
Energy Fuels	14	45,16%
Computer Science	10	32,26%
Physics	5	16,13%
Automation Control Systems	3	9,68%
Instruments Instrumentation	3	9,68%
Telecommunications	3	9,68%
Communication	1	3,23%
Environmental Sciences Ecology	1	3,23%
Material Science	1	3,23%
Mathematics	1	3,23%
Mechanics	1	3,23%
Optics	1	3,23%
Public Administration	1	3,23%

Fig. 3. Porcentaje de áreas en Educación Universitaria en RI. Fte.: WOS.2020.

Analizaremos por lo tanto aquellas áreas y títulos que engloben las ingenierías industriales de electricidad,

electrónica y la ingeniería informática. Los filtros de búsqueda son:

- Redes Inteligentes (Smart Grids)
- Internet de las Cosas (IoT)
- Redes Inalámbricas
- Sensores
- Actuadores
- Domótica/Inmótica

Se revisarán las Guías Docentes del curso académico 2019-2020 de la EPSJ-UJA y se analizarán también las Memorias de Grado, para obtener unos datos globales de los contenidos de las asignaturas ofertadas.

III. ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN EN RI EN LA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

En esta sección, analizamos las asignaturas de grados y máster de las áreas de ingeniería eléctrica, electrónica e informática de la EPSJ de la UJA. Revisaremos los temarios y documentación a través de las guías docentes oficiales, las cuales se encuentran publicadas en [19][20][21].

Se han filtrado las asignaturas para obtener resultados en los cursos 3º y 4º de grado, ya que en esos niveles se exponen las asignaturas específicas y orientadas a la profesionalización de cada una de las áreas.

Respecto a la rama industrial, los dos primeros cursos de grado son comunes estando integrados por asignaturas básicas comunes a todas las ramas de la Ingeniería y propias de la Ingeniería Industrial. Los dos cursos restantes contienen las asignaturas específicas de cada especialidad.

Con el objeto de comprobar si se están impartiendo contenidos sobre RI en las asignaturas analizadas, se analizarán las guías docentes extraídas de la publicación web de la Universidad de Jaén.

En las siguientes subsecciones, se presenta el marco de análisis de cada una de las disciplinas bajo estudio.

A. Grado en Ingeniería Eléctrica (GIE) EPSJ-UJA.

En esta sección realizamos la descripción desde el Grado en Ingeniería Eléctrica (GIE), el cual habilita para ejercer la profesión regulada de Ingeniero Técnico Industrial especialidad en Electricidad y está acreditado por la European Network for the Accreditation of Engineering Education (ENAE) a través de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) con el sello internacional de calidad EUR-ACE. [19][22]

En la Tabla 1 se observa que en las 24 asignaturas analizadas en el GIE de la EPSJ-UJA para el curso académico 2019/2020, sólo en una de ellas se menciona alguna de los descriptores bajo estudio y que tienen relación con el contexto de RI, Sensores, Domótica, etc.

En ninguna de las otras asignaturas se abordan estos contenidos sobre redes inteligentes o sus indicadores y análisis. El desarrollo del concepto de un hogar inteligente requerirá la integración de varias tecnologías de ingeniería eléctrica e informática, energía, comunicación, computación y control. Más específicamente, las tecnologías de respuesta a la demanda, operación del mercado eléctrico, aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, red de sensores inalámbricos, diseño de interfaz de usuario web, diseño de circuitos y administración de bases de datos serán necesarias en varias extensiones para redes inteligentes.

TABLA 1. ASIGNATURAS DEL GIE-EPSJ-UJA. CONTENIDOS SOBRE REDES INTELIGENTES O ENTORNOS INTELIGENTES

ASIGNATURAS GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA (GIE)			
3º Curso	Créditos	Contenidos RI	Contenidos Entornos Inteligentes
Regulación Automática	6		
Máquinas Eléctricas I	6		
Instalaciones Eléctricas Baja Tensión	6	⊗	⊗
Fundamentos de Tecn. Medioambiental	3		
Circuitos	9		
Máquinas Eléctricas II	6		
Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión	6		
Accionamientos Eléctricos y Electrónica P.	9		
4º Curso		Créditos	
Sistemas Eléctricos de Potencia	6		
Proyectos	6		
Centrales Eléctricas I	6		
Trabajo Fin De Grado	12		
Centrales Eléctricas II	6		
Optativas		Créditos	
Topografía y Construcción	6		
Matemáticas para Ing. Eléctrica	6		
Instalaciones Fotovoltaicas	6		
Generación de Energ. Eléctrica con Energías Renovables	6		
Prácticas Externas	12		
Tecnología Eléctrica de los Sist. Fotovoltaicos	6		
Tecnología de la Iluminación	6		
Recursos Hidroeléctricos	6		
Protecciones Eléctricas	6		
Eficiencia y Ahorro Energético	6		
Convertidores de Potencia	6		
Automatización de Sist. Eléctricos	6		
Créditos Ofertados en 3º y 4º Curso		165	1

La evolución de los sistemas de energía a las redes inteligentes tiene implicaciones importantes para la educación universitaria [6].

Una vez analizadas las asignaturas, procedemos a leer y revisar las Memorias de Grado del Título, publicadas y homologadas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte según la norma Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, BOE de 20 febrero de 2009 y firmada en diciembre de 2015 por la Universidad de Jaén [19].

En la Memoria de Grado del Título de GIE sólo aparece una referencia sobre el término “sensores”, dentro de los contenidos de la asignatura de Electrotécnica, en la página 39 de la memoria [19]. Esto nos indica que el papel de las RI en los contenidos formativos en el GIE es escaso y en este trabajo se proponen algunas mejoras que podrían implementarse para amplificar la formación en esta temática multidisciplinar.

B. Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (GIEI) EPSJ-UJA.

En este apartado se revisan los contenidos en RI y sus variantes, en las asignaturas de 3º y 4º curso del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (GIEI) de la EPSJ-UJA. El alumnado adquiere formación en Tecnología Electrónica y Automática Industrial y abarca lo referente a la integración de sistemas electrónicos en la industria, el control y la automatización de los procesos de producción, robótica, microprocesadores, comunicaciones industriales, sensorización, instrumentación y programación industrial [20].

Las menciones en el GIEI que puede elegir el alumnado son tres :

- Sistemas Electrónicos
- Automática
- Sistemas Fotovoltaicos

Como se detalla en la Tabla 2, existen 6 asignaturas, de las 24 analizadas, en las que se aborda la temática de RI, sensores, domótica en los contenidos de las guías docentes examinadas. Encontramos asignaturas como Informática Industrial, Ingeniería de Control y Automática Avanzada dentro del curso 3º del grado.

En cuanto a las asignaturas optativas, son en las que más se estudian los indicadores bajo estudio, aunque debemos indicar que estos contenidos son opcionales y no aseguramos que todo el alumnado los curse.

Estas asignaturas son: Robótica Industrial, Sistemas de Percepción Industrial y Aplicación de la Automatización en Edificios

Según la Tabla 2, el número de créditos ofertados en la titulación del GIEI de la EPSJ-UJA es de 174 y el número de créditos en los que aparecen los indicadores bajo estudio son 36 créditos. Debe indicarse que las asignaturas obligatorias son indicativas de los créditos formativos que se imparten a todo el alumnado de cada especialidad, siendo las asignaturas optativas variables.

Una vez analizadas las asignaturas, procedemos a leer y revisar las Memorias de Grado del Título, publicadas y homologadas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte según la norma Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, BOE de 20 febrero de 2009 y firmada en diciembre de 2015 por la Universidad de Jaén [20].

En la Memoria de Grado del Título de GIEI aparecen los siguientes términos:

- “Domótica”, se indica entre los contenidos de la asignatura de la asignatura optativa de “Aplicación de la automatización en edificios”.
- “Sensores”, es la palabra que más aparece en la memoria.
- “Sistemas Inteligentes”, en algunas asignaturas optativas
- “Programación”, que aparece sobre todo en las materias de robótica y automatización.

Mediante el análisis de la terminología que se ha realizado en las guías docentes evaluadas, se puede extraer

información sobre los contenidos impartidos en RI en los grados.

TABLA 2. ASIGNATURAS DEL GIEI-EPSJ-UJA. CONTENIDOS SOBRE REDES INTELIGENTES O ENTORNOS INTELIGENTES

ASIGNATURAS GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL (GIEI)			
3º Curso	Créditos	Contenidos RI	Contenidos Entornos Inteligentes
Introducción a los Sistemas Fotovoltaicos	6		
Informática Industrial	6		⊗
Fundamentos de Tecnología Medioambiental	3		
Electrónica Analógica	6		
Electrónica Digital	9		
Sistemas Analógicos	6		
Instrumentación Electrónica	6		
Ingeniería de Control	6		⊗
Electrónica de Potencia	6		
Automática Avanzada	6		⊗
4º Curso			
Electrotecnia Avanzada	6		
Control por Computador	6		
Proyectos	6		
Trabajo Fin De Grado	12		
Optativas			
Robótica Industrial	6		⊗ ⊗
Sistemas de Adquisición De Datos	6		
Programación	6		
Instalaciones Fotovoltaicas	6		
Prácticas Externas	12		
Tecnología Electrónica y Desarrollo de Prototipos Electrónicos	6		
Tecnología de los Sistemas Fotovoltaicos	6		
Sistemas de Percepción Industrial	6		⊗
Sistemas Digitales	6		
Microelectrónica	6		
Gestión y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos	6		
Electrónica Aplicada a Sistemas Fotovoltaicos	6		
Aplicación de Automatización en Edificios	6		⊗ ⊗
Créditos Ofertados en 3º y 4º Curso	174		36

C. Grado en Ingeniería Informática (GII) EPSJ-UJA.

En esta sección, analizamos el Grado en Ingeniería Informática (GII) que se imparte en la ESPJ de la Universidad de Jaén. Este grado capacita para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico en Informática, tal como se establece en el Acuerdo de Consejo de Universidades de 13 de marzo de 2009 (BOE 4/8/2009).

Tiene como objetivo formar profesionales en Informática con una visión global de la tecnología que les permita analizar, diseñar, desarrollar e implantar sistemas informáticos en distintos entornos y situaciones, adaptándose a los cambios y a las innovaciones tecnológicas.

En la Universidad de Jaén, este grado está acreditado por la European Assurance Network for Informatics Education (EQANIE) a través de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) con el sello internacional de calidad Euro-INF. [21]

El Grado cuenta con tres especialidades:

- Ingeniería del software
- Sistemas de información
- Tecnologías de la información

El título GII se clasifica en 4 Menciones en las que la formación en RI se distribuye en los bloques siguientes:

- Informática Empresarial
- Tratamiento Inteligente de la Información
- Sistemas Gráficos
- Técnicas para la Información y la Comunicación

Una vez analizadas las asignaturas, procedemos a revisar las Memorias de Grado del Título, publicadas y homologadas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, de conformidad con el Real Decreto 1393/2007, por el que se establece la ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales y firmada en diciembre de 2015 por la Universidad de Jaén. [21].

En la Memoria de Grado del Título de GII aparecen los siguientes indicadores:

- “Sistemas inteligentes”, “tratamiento inteligente”, se repiten en numerosas ocasiones en la memoria.
- “Sensores” se enuncia en varias ocasiones.
- “Internet” aparece en numerosas ocasiones, pero no así “Internet de las cosas (IoT), que no aparece en el texto.

El GII de la EPSJ-UJA es uno de los que inciden tanto en sus memorias de grado como en las asignaturas y guías docentes revisadas en el contexto y análisis de RI. No obstante, aún queda mucho para poder introducir de forma multidisciplinar y transversal con otros grados y disciplinas de la misma institución la visión global de las RI y de una transversalidad integral para lograr los objetivos en materia de transición energética y desarrollo sostenible.

De los 294 créditos ofertados en el GII se ofrecen 78 créditos en materias relacionadas con el estudio y análisis de las RI. En algunas materias su integración en el contexto del temario y de la guía docente es bastante amplio, ofreciendo una formación completa sobre algunos de los parámetros que estamos analizando en este trabajo.

Se observa que el concepto RI no aparece integrado en prácticamente ninguna asignatura, guía docente o memoria de grado de las tres disciplinas académicas analizadas, siendo esto un inequívoco elemento de análisis y evaluación para los procesos futuros de planificación de las enseñanzas superiores universitarias.

Así mismo, los contenidos específicos relacionados con las RI, en cualquiera de sus ámbitos, se concentran fundamentalmente en las asignaturas optativas. Esta es una tónica que se repite en todos los grados analizados y nos muestra que dicha formación no forma parte de la

planificación de la enseñanza obligatoria sino que se adapta en la optatividad.

TABLA 3. ASIGNATURAS DEL GII-EPSJ-UJA. CONTENIDOS SOBRE REDES INTELIGENTES O ENTORNOS INTELIGENTES

ASIGNATURAS DEL GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA (GII)			
3º Curso	Créditos	Contenidos RI	Contenidos Entornos Inteligentes
Metaheurísticas	6		⊗
Interacción Persona-Ordenador	6		⊗⊗
Informática Gráfica y Visualización	6		
Gestión y Administración Bases de Datos	6		
Gestión y Control de Proy. Informáticos	6		
Sistemas Multiagente	6		
Sistemas Multimedia	6		⊗
Tecnologías Basadas en la Web	6		⊗
Sistemas Inteligentes de Información	6		⊗
Sistemas de Inform. el Negocio Electrónico	6		⊗
Sistemas de Recuperación de Información	6		
Sistemas de Información Basados en Web	6		
Procesamiento de Información Visual	6		
Ingeniería de Requisitos	6		
Desarrollo de Software para Dispos.Móviles	6		
Desarrollo de Aplicaciones Web	6		
Desarrollo Ágil	6		
Calidad del Software	6		
Bases de Datos Distribuidas	6		
Auditoría Informática	6		
4º Curso			
Tecnologías para la Gest de la Información	6		
Sistemas de Información Espacial	6		
Redes e Infraestructuras de Comunicaciones	6		⊗⊗
Sistemas de Ayuda a la Decisión	6		
Minería de Datos	6		⊗
Gestión de Proyectos Software	6		
Diseño de Software	6		
Diseño e Implantación de Servidores	6		
Desarrollo de Aplicaciones Empresariales	6		
Trabajo Fin de Grado	12		
Optativas			
Sist. Información para Decisiones Estratégicas	6		⊗
Programación de Aplicaciones Gráficas	6		⊗
Prácticas Externas	12		
Microprocesadores y Microcontroladores	6		⊗
Ejercicio Profesional de la Informática	6		
Diseño de Modelos de Simulación	6		
Web Semántica y Social	6		
Técnicas Animación 3D y Post-Procesamiento	6		
Técnicas Avanzadas de Seguridad	6		
Protocolos de Soporte a Aplic.Multimedia	6		
Minería Web	6		
Programación Hardware	6		⊗⊗
Procesamiento del Lenguaje Natural	6		
Inteligencia Ambiental	6		⊗⊗
Desarrollo de Videojuegos	6		
Creación de Empresas Basadas en TIC	6		
Algoritmos Geométricos	6		
Créditos Ofertados en 3º y 4º Curso	294		78

FORMACIÓN EN REDES INTELIGENTES

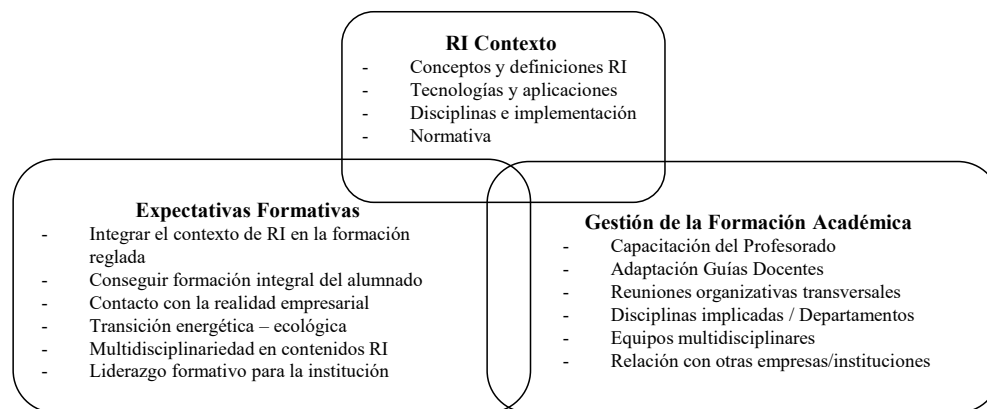


Fig. 4. Panorama didáctico de la red inteligente y sus características.

IV. RESULTADOS Y PROPUESTAS

En este trabajo se ha realizado un análisis de la formación en RI que se desarrolla a través de las guías docentes de las asignaturas de 3º, 4º y optatividad, en los Grados: GIE, GIEI y GII, en la EPSJ, de la Universidad de Jaén.

La pretensión del trabajo es la de proporcionar en primer lugar una visión de la formación en RI a través de los programas académicos en el curso 2019/2020 y aportar propuestas y mejoras que puedan completarla formación en futuros cursos.

Se ha realizado un análisis cuantitativo y los resultados se exponen en la Tabla 4, en cuanto al número de créditos ofertados totales y el porcentaje extraído en cuándo a la formación en RI.

TABLA 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS CUANTITATIVOS

RESULTADOS SOBRE CONTENIDOS EN REDES INTELIGENTES - EPSJ-UJA	Créditos Ofertados	Créditos RI	%
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	165	12	7,3%
Asignaturas Obligatorias	87	6	6,9%
Asignaturas Optativas	78	6	7,7%
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL	174	36	20,7%
Asignaturas Obligatorias	90	18	20,0%
Asignaturas Optativas	84	18	21,4%
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA	294	78	26,5%
Asignaturas Obligatorias	186	48	25,8%
Asignaturas Optativas	108	30	27,8%

Se ha realizado así mismo un análisis cualitativo a través de las fuentes consultadas y que se especifican en la metodología, para ello hemos extraído algunos indicadores y propuestas que se exponen a continuación y con las que se pretende mejorar la formación en RI en los grados examinados en la EPSJ.

En la figura 4 se ha adaptado el trabajo de Ponce a la formación en RI en la EPSJ, para contextualizar la mecánica formativa de la institución. Como se observa en la figura, según las fuentes consultadas, podemos ofrecer un panorama formativo integral en RI teniendo en cuenta el contexto y su implementación, la gestión de la formación académica y la visualización de las expectativas formativas que se pretenden [17].

Se han analizado las memorias de los títulos de grado en ingeniería eléctrica, electrónica industrial e informática de la EPSJ – UJA, con el objeto de encontrar contenidos sobre el papel de las RI, IoT, sensores, domótica, redes inalámbricas y otras [19][20][21][22]

Así mismo, se ha estudiado a través de distintas fuentes, si en el diseño educativo del siglo XXI, en el que las RI y su implementación en la sociedad y la formación de profesionales en los sectores de ingeniería es o no relevante a través de los currículums académicos [23] [24][25]

Se ha ofrecido en este trabajo una visión para revisar si las RI tienen el suficiente peso en los contenidos académicos de la formación universitaria en la EPSJ, de la Universidad de Jaén, en los grados analizados. Por todo ello, entre los resultados obtenidos del análisis, que se pueden observar en las Tablas 1,2 y 3 de este trabajo, obtenemos los siguientes resultados cuantitativos:

1. El término RI sólo aparecen en el contenido de dos asignaturas en el GIE. Encontramos únicamente la referencia en 12 créditos de los 165 créditos ofertados en el grado. (Tabla 1)
2. Los términos relacionados con Entornos Inteligentes, tales como Sensores, Sistemas Inteligentes, Domótica/Inmótica, Redes Inalámbricas, etc, aparecen en 36 de los 174 créditos ofertados en el grado GIEI, un 20%. (Tabla 2)
3. En el grado GII, se mencionan en 74 créditos de los 294 ofertados, términos como sensores, sistemas inteligentes, entornos inteligentes, redes inalámbricas, domótica/inmótica, entre otros. Un 25,2%. (Tabla 3)

Finalmente, podemos concluir indicando que la formación integral y multidisciplinar es cada vez más demandada por la sociedad y las empresas. Desde la formación universitaria se debe apostar por contactar con los requerimientos sociales, económicos, estratégicos y humanos para abordar los retos del siglo XXI [26] [27].

En este trabajo se ha ofrecido una visión localizada en un programa formativo concreto y se han analizado algunas de las memorias formativas y guías docentes para ofrecer una visión global de la interrelación de algunos grados de ingeniería con el contexto estratégico de los estudios en RI

en general y los estudios en sistemas inteligentes, IoT, redes inalámbricas, sensores y otros en particular [28] [29] [30].

En los grados de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica Industrial se ofrece una formación en RI relacionada con la automatización de edificios, robótica, control de máquinas, informática aplicada a la ingeniería. Todos estos parámetros están relacionados con sistemas de inteligencia que tienen una relación estrecha con sensores y programación.

En el grado de GII la formación en RI se relaciona en general con programación software, inteligencia ambiental, programación con sensores, monitorización, etc.

Por todo ello, y según los análisis detallados, a continuación se realizan las siguientes propuestas para adecuar la integración formativa sobre RI en la formación en ingeniería.

a) Adaptación curricular del profesorado implicado

Es esencial que el profesorado que imparta contenidos de ingeniería en las áreas que abarcan las redes inteligentes esté formado y logre la inclusión de las temáticas transversales a sus asignaturas. De esta forma el alumnado y también los futuros diseños y avances en tecnologías de RI serán más ágiles y provendrán muchos de ellos de una formación *curricular*.

b) Gestión de la Formación Académica en RI

Desde las instituciones ofrecerán formación integral para lograr una adaptación a los cambios tecnológicos y climáticos en las materias de ingeniería. De forma multidisciplinar se realizará:

- Capacitación del profesorado
- Adaptación de las guías docentes
- Reuniones organizativas transversales
- Implicar a departamentos y grupos de investigación
- Realizar equipos multidisciplinarios
- Revisar las relaciones externas para la mejora continua

c) Expectativas formativas que se pretenden conseguir

Se pretende integrar de forma efectiva y obtener resultados a corto plazo, uno o dos cursos académicos. Para ello, se persiguen los siguientes objetivos:

- Integrar el contexto RI en formación reglada de la institución
- Conseguir la formación integral del alumnado/profesorado implicado
- Mantener el contacto con la realidad empresarial/institucional del entorno.
- Formar para una visión general de la transición energética-ecológica
- Ofrecer contenidos multidisciplinarios sobre RI
- Conseguir el liderazgo para la institución y adecuar la realidad tecnológica a la realidad formativa.

Agradecimientos

- o Funding for this research is provided by the EU 2020 Pharaon Project (Pilots for Healthy and Active Aging) under grant no. 857188. Additionally, by action 1 of the University of Jaén under code EI_TIC1_2019 and research project RTI2018-098979-A-I00.
- o Spanish Government by the project RTI2018-098979-A-I00

REFERENCIAS

- [1] G. Verbič, C. Keerthisinghe and A. C. Chapman, "A Project-Based Cooperative Approach to Teaching Sustainable Energy Systems," in *IEEE Transactions on Education*, vol. 60, no. 3, pp. 221-228, Aug. 2017
- [2] Duderstadt J.J. (2010) Engineering for a Changing World. In: Grasso D., Burkins M.B. (eds) *Holistic Engineering Education*. Springer, New York, NY
- [3] Universidad de Jaén. Plan de Divulgación Científica y de la Innovación 19/20. (2019)
- [4] Ángeles Verdejo. Área de ingeniería y arquitectura. Guía docente 2019-2020. Universidad de Jaén.
- [5] M. Ilić, "Teaching smart grids: Yet another challenge and opportunity for transforming power systems curriculum," IEEE PES General Meeting, Providence, RI, 2010, pp. 1-2
- [6] Q. Hu, F. Li and C. Chen, "A Smart Home Test Bed for Undergraduate Education to Bridge the Curriculum Gap From Traditional Power Systems to Modernized Smart Grids," in *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 1, pp. 32-38, Feb. 2015
- [7] Anuradha M. Annaswamy; Massoud Amin, "IEEE Vision for Smart Grid Controls: 2030 and Beyond," in *IEEE Vision for Smart Grid Controls: 2030 and Beyond*, vol., no., pp.1-168, 20 June 2013
- [8] Faza, A., Batarseh, M., & Abu-Elhaija, W. (2017). Upgrading power and energy engineering curricula in Jordanian universities: a case study at PSUT. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 54(1), 57-81. <https://doi.org/10.1177/0020720916673648>
- [9] McKenna, A. F., Hynes, M. M., Johnson, A. M., & Carberry, A. R. (2015 online first). The use of engineering design scenarios to assess student knowledge of global, societal, economic, and environmental contexts. *European Journal of Engineering Education*, 1-15.
- [10] M. Gordon and M. Shahidehpour, "A Living Laboratory [The Business Scene]," in *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 9, no. 1, pp. 18-98, Jan.-Feb. 2011.
- [11] A. S. Deese, "Development of Smart Electric Power System (SEPS) Laboratory for Advanced Research and Undergraduate Education," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 3, pp. 1279-1287, May 2015
- [12] Macarena Espinilla, Vladimir Villarreal, Ian R. McChesney: Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence - UCAMI. *Sensors* 19(18): 4034 (2019)
- [13] Macarena Espinilla, Chris D. Nugent: Computational Intelligence for Smart Environments. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* 10(1): 1250-1251 (2017)
- [14] Macarena Espinilla, Luis Martínez, Javier Medina, Chris D. Nugent: The Experience of Developing the UJAmI Smart Lab. *IEEE Access* 6: 34631-34642 (2018)
- [15] Ángeles Verdejo, "Smart grids, redes eléctricas inteligentes para una sociedad tecnológica, sostenible y humana". Seminario científico. Fundación española para la ciencia y la tecnología y Universidad de Jaén, 2018.
- [16] Farhangi, H. (2010). El camino de la red inteligente. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8 - 17 (21)
- [17] Ponce, P., Ibarra, L., Mata, O., & Molina, A. (2019). How to develop research skills among undergraduate engineering students to tackle current ongoing topics? A Smart-Grid case study. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*. <https://doi.org/10.1177/0020720918816004>
- [18] Education and training in smart grids and smart cities. 2018 IEEE International Forum Smart Grids para Smart Cities (SG4SC). Belgium. Noviembre 2018.

- [19] Memoria de Título Oficial Graduado o Graduada en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Jaén. Ministerio de Educación, cultura y deporte. Gobierno de España. Diciembre 2015. <http://eps.ujaen.es/grados.html>
 - [20] Memoria de Título Oficial Graduado o Graduada en Ingeniería Electrónica Industrial. Universidad de Jaén. Ministerio de Educación, cultura y deporte. Gobierno de España. Diciembre 2015. <http://eps.ujaen.es/grados.html>
 - [21] Memoria de Título Oficial Graduado o Graduada en Ingeniería Informática por la Universidad de Jaén. Ministerio de Educación, cultura y deporte. Gobierno de España. Diciembre 2015. <http://eps.ujaen.es/grados.html>
 - [22] E. Spanò, L. Niccolini, S. D. Pascoli and G. Iannacconeluca, "Last-Meter Smart Grid Embedded in an Internet-of-Things Platform," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 1, pp. 468-476, Jan. 2015
 - [23] J. Harrison and R. Vanbaelen, "Engineering education accreditation: A look at communication and language," 2015 IEEE International Professional Communication Conference (IPCC), Limerick, 2015, pp. 1
 - [24] Maria Lorena Tuballa, Michael Lochinvar Abundo, "A review of the development of Smart Grid technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 59, 2016, Pages 710-725, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.011>
 - [25] K. Srivastava, C. Hauser, D. Bakken and M. S. Kim, "Design and development of a new smart grid course at Washington State University," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, 2012, pp. 1-2
 - [26] Verdejo Espinosa, M.A., Fernández, J., Durán, M. (2016) Energy and Environment Model for the Electrical Industry. The case of Spain. En Manuel Pérez-Donsión (Ed.), *Renewable Energy II* (520-538). Newcastle, United Kingdom: Cambridge Scholars Publishing Technology
 - [27] Emiro De la Hoz-Franco, Paola Ariza Colpas, Javier Medina Quero, Macarena Espinilla: Sensor-Based Datasets for Human Activity Recognition - A Systematic Review of Literature. *IEEE Access* 6: 59192-59210 (2018)
 - [28] Verdejo, M.A., Fernández, J. (2015). Prediction Model for the Electrical Industry in Spain. The Trend Toward Renewable Energy. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 35(3), 9-31. DOI: 10.1080/10485236.2015.11665758
 - [29] Kayarvizhy N., Panimozhi K., Harshitha R., "Internet of Things: A Project Based Engineering Course", *MOOCs Innovation and Technology in Education (MITE) 2017 5th International IEEE Conference on*, pp. 83-88, 2017
- J. Stoustrup, A. Annaswamy, A. Chakraborty y Z. Qu (eds.), "Smart Grid Control: An Overview and Research Opportunities". Springer, 2019

Convertidor electrónico multipropósito para la enseñanza de la electrónica de potencia

Pablo Amoedo
Cátedra de Electrónica de Potencia
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
amoedo@fceia.unr.edu.ar

Sergio Junco
Lab. de Automatización y Control
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
sjunco@fceia.unr.edu.ar

Daniel Alba
Lab. de Automatización y Control
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
alba@fceia.unr.edu.ar

Mónica Romero
Cátedra de Electrónica de Potencia
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
mromero@fceia.unr.edu.ar

Andrés Vazquez Sieber
Cátedra de Electrónica de Potencia
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
andres_vazquez_sieber@yahoo.com.ar

Abstract— La enseñanza de la Electrónica de Potencia que involucra dispositivos semiconductores de corte y conducción controlada involucra en su etapa inicial el estudio de distintos convertidores como lo son los de cc-cc (boost, buck), cc-ca (inversores modulados por ancho de pulso) y ca-cc (rectificadores modulados por ancho de pulso). El desarrollo de experiencias prácticas (tipo 'hands-on') sobre este tipo de topologías implica en general la utilización de un equipo que para cada una de las configuraciones anteriormente mencionadas. El presente artículo presenta un convertidor electrónico multipropósito que puede ser utilizado como plataforma de hardware para la enseñanza práctica de la Electrónica de Potencia, implementando en un mismo hardware las anteriores topologías, tanto en sus versiones monofásicas como trifásicas, mediante la programación de su unidad digital de control y la conexión opcional de elementos pasivos externos.

Keywords — Conversión eléctrica, Electrónica de Potencia, hardware para educación, actividades de laboratorio.

I. INTRODUCCIÓN

En el proceso de aprendizaje de la Electrónica de Potencia, el estudio de dispositivos semiconductores de corte y conducción controlada [1] es clave. Estos dispositivos constituyen una parte esencial en las distintas topologías de conversión cc-cc, ca-cc y cc-ca. Las configuraciones básicas que se presentan son la buck, boost y flyback para conversión cc-cc, mientras que el puente H completo (para aplicaciones monofásicas) y el puente trifásico completo suelen ser utilizados como ejemplos para conversión cc-ca y ca-cc.

Este tipo de configuraciones son presentadas a los estudiantes funcionando en condiciones ideales, es decir dispositivos semiconductores ideales y operando en régimen permanente. Bajo estas condiciones de trabajo se obtiene la tensión de salida de los convertidores como una función del ciclo de trabajo. También se analiza la influencia de las variaciones de carga, de la tensión de entrada y de algunos parámetros del circuito. Este estudio se lleva a cabo en general pensando que el convertidor opera a lazo abierto y en régimen permanente.

Para estudiar el comportamiento dinámico de los convertidores se hace necesario obtener un modelo de este, que en general se lleva a cabo mediante técnicas de promediación [2]. Con esta técnica se obtiene un modelo continuo lineal que permite el análisis dinámico de

convertidores con las herramientas conocidas de la teoría de sistemas, tales como: funciones transferencia, diagramas de bloques, lugar de las raíces, variables de estado y diagramas de Bode.

A partir del modelo dinámico es posible diseñar y sintetizar una ley de control que permita al convertidor alcanzar una consigna deseada siguiendo algún criterio de desempeño prefijado, así como la posibilidad de rechazar perturbaciones.

La etapa de síntesis de los controladores y su implementación es de sumo interés dado que involucra muchos conceptos provenientes de otras ramas de la electrónica (y que en general pertenecen a los contenidos de otras asignaturas de grado dentro de la carrera) como: Teoría de Señales y Sistemas, Teoría de Control, Técnicas digitales y Electrónica Lineal.

Una etapa complementaria y muy importante del proceso de aprendizaje consiste en la ejecución de actividades de laboratorio asociadas a los contenidos presentados. Esta etapa de experimentación tiene una fase de verificación de los conceptos teóricos en convertidores, permitiendo el acceso a variables internas y operando a niveles de potencia adecuados por cuestiones de seguridad, tanto para las personas que lo operan como para el instrumental y el hardware complementario que se requiera.

En la actualidad, los estudiantes que inician los cursos de Electrónica de Potencia en la Universidad Nacional de Rosario realizan actividades de laboratorio de visualización de tensiones y corrientes sobre convertidores ya construidos. Estas topologías se encuentran implementadas por medio de circuitos integrados (CC.II.) de aplicaciones específicas que incluyen:

- Una referencia de tensión, pudiendo ser integrada o externa.
- Un pin de realimentación de tensión de salida.
- Elemento de potencia (pudiendo tratarse de uno o más transistores).

Desde un punto de vista didáctico, la utilización de este tipo de convertidores limita en cierta medida el aprendizaje de la Electrónica de Potencia de acuerdo con los puntos que se resumen a continuación:

- Los CC. II. sólo pueden ser utilizados para una topología en particular. Esto obliga a contar con múltiples equipos, en donde cada uno de estos desarrollará una aplicación.
- El diseño del convertidor queda sujeto a las indicaciones de la hoja de datos del CC.II. utilizado, limitando así la aplicación de los conceptos aprendidos.
- El control implementado por los CC.II. de aplicaciones específicas es analógico y, por ende, inalterable. Esto impide la implementación de controladores específicos.

A los anteriores puntos se agrega el desaprovechamiento de la riqueza conceptual y práctica que tiene la Electrónica de Potencia, entendiéndola como una rama sumamente integral de la electrónica ya que aborda:

- Dispositivos semiconductores.
- Teoría de sistemas y señales.
- Teoría de control aplicada.
- Electrónica lineal.
- Electrónica digital.

En función de los anteriores puntos, se decide reemplazar a la utilización de convertidores con CC. II. de aplicación específica por una plataforma de hardware experimental que reúna las siguientes especificaciones:

- Multipropósito, de forma tal que el equipo pueda ser usado en cualquiera de las topologías presentadas.
- Digital, permitiendo la síntesis y diseño de distintos tipos de controladores para cada topología.
- Autocontenido, contando con todas las mediciones necesarias (tensiones y corrientes) y sus sistemas de acondicionamiento correspondientes, evitando el diseño y construcción de placas de circuito impreso externas.

Elementos pasivos necesarios para cada topología de conversión, tales como inductancias o capacitores, son conectados en forma externa al convertidor por medio de borneras accesibles.

El proceso de diseño del equipo desarrollado arroja como resultado al convertidor electrónico multi-propósito (CEMP). Éste es presentado en la sección siguiente.

II. CONVERTIDOR ELECTRÓNICO MULTI-PROPÓSITO

La presente sección describe las partes fundamentales del convertidor desarrollado [3].

El convertidor fue inicialmente diseñado como plataforma de hardware para la implementación de los distintos tipos de conversión eléctrica que se presentan en una microrred eléctrica híbrida [4]. A raíz del nuevo uso didáctico del equipo, se introdujeron una serie de modificaciones sobre el equipo presentado en esta publicación:

- Reducción del tamaño del disipador, en vista de que no se requiere un equipo con la capacidad (en kVA) contemplada para los equipos de conversión de energía.
- Inclusión de un puente rectificador no controlado (diodos) que permita la alimentación del bus de cc a partir de la red eléctrica de ca.
- Inclusión de una bornera de conexión externa a la placa de circuito impreso, teniendo como objetivo reducir el desgaste de la conexión y desconexión de conductores en los sucesivos usos del equipo.
- Programación del DSP para la ejecución de las distintas aplicaciones, en operación a lazo abierto.
- Desarrollo de una interfaz gráfica web que permita la utilización del convertidor en múltiples aplicaciones.

A. Etapa de potencia

La etapa de potencia del CEMP está constituida por un puente trifásico de transistores IGBT. La estructura circuital se presenta en la Fig. 1.

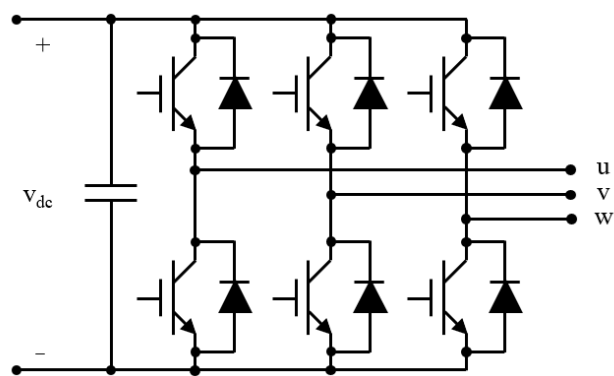


Fig. 1. Etapa de potencia del convertidor electrónico desarrollado

Desde un punto de vista práctico se considera en el diseño la utilización de un *intelligent power module*. Este tipo de circuito integrado de potencia concentra en un único encapsulado la etapa de potencia (transistores y diodos *freewheel*) así como los circuitos de disparo de los transistores y otras funciones de utilidad, como ser protecciones de cortocircuito y medición de temperatura.

El circuito integrado utilizado es el Powerex PS21A79. Se trata de un módulo de 600V, 50A cuya vista se presenta en la Fig. 2.

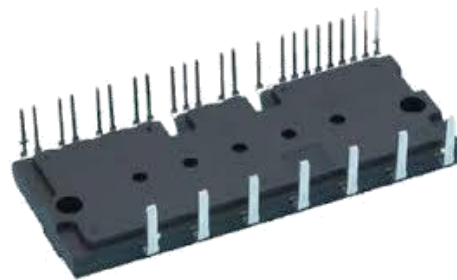


Fig. 2. Vista del chip de potencia PS21A79, de Powerex.

La utilización de este tipo de circuitos integrados de potencia aporta ciertos beneficios, como ser la simplicidad del disparo de los transistores y la reducción del tamaño del convertidor de potencia.

Un bus de cc y tres fases (genéricamente designadas como u , v y w) constituyen los puertos de potencia del convertidor. Esto es gráficamente presentado en la Fig. 3 en vista de que será utilizado con frecuencia en las próximas secciones del artículo para describir las distintas aplicaciones del convertidor. Un cuarto puerto, denominado $dc-$, corresponde al polo negativo del bus de cc.

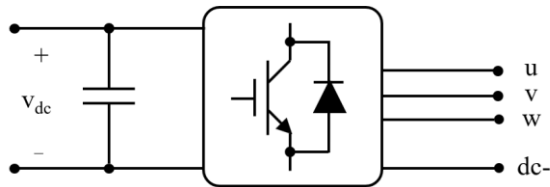


Fig. 3. Puertos de potencia del CEMP.

Las fases u , v y w pueden procesar tanto variables de ca como de cc, en tanto que el bus de cc sólo admite la operación con variables de cc según la polaridad indicada en la Fig. 3. El bus de cc también incluye capacitores ya montados en el convertidor.

Nótese que no se califica a ninguno de estos puertos como de entrada o de salida, en virtud de que la estructura del convertidor permite una operación bidireccional en lo que respecta al flujo de potencia activa. Esto último aplica tanto para las conversiones cc-cc así como ca-cc implementadas por el CEMP. La etapa de potencia utilizada es comúnmente denominada en la literatura técnica como *voltage source converter* [5], en función de que el bus de cc puede interpretarse – en el intervalo de tiempo de la modulación por ancho de pulso – como una fuente de tensión constante por la presencia de los capacitores.

B. Unidad de control digital

La unidad de control digital del CEMP está compuesta por una placa TMSCNCD28335, de Texas Instruments. Se trata de una placa de desarrollo, cuyos pines son accesibles por medio de un zócalo DIMM100. Contiene un procesador digital de señales (DSP) TMS320F28335, de Texas Instruments, de 32bits y 150MIPS.



Fig. 4. TMSCNCD28335 controlCARD.

El microcontrolador puede ser programado *on-board* mediante un conector USB y un computador. Esto último será ampliado en la sección de comunicaciones.

El DSP incluye periféricos que pueden utilizarse para el desarrollo de distintas tareas asociadas a la aplicación del convertidor. Entre éstos se destacan:

- Modulador de ancho de pulso (PWM), el cual tendrá como función el control de los transistores de potencia que componen el convertidor. Las salidas de este módulo se encuentran directamente conectado a las señales de disparo del chip de potencia.
- Temporizadores, utilizados como base de tiempo para la ejecución de tareas y/o interrupciones en forma sincrónica.
- Conversor analógico – digital (ADC), los que tendrán como objetivo realimentar al controlador las variables eléctricas a controlar y/o monitorear.
- Comunicación CAN, para la aplicación de un sistema que permita la intercomunicación entre distintos convertidores o el control bajo un sistema de jerarquía superior.
- Periférico QEP para la conexión directa de encoders incrementales. Esto permite la utilización del convertidor para el control eléctrico de motores con realimentación de velocidad mecánica de giro.

La unidad de control digital deberá ser programada por el usuario de acuerdo con la aplicación a ejecutar.

C. Mediciones analógicas

Las mediciones analógicas de tensión y corriente son necesarias a los efectos de poder ejecutar sobre el microcontrolador un control a lazo cerrado del convertidor.

La Fig. 5 presenta – en forma simplificada – el procesamiento de las variables eléctricas realimentadas al microcontrolador.



Fig. 5. Procesamiento de las variables analógicas realimentadas

Las variables eléctricas son primeramente ingresadas a un transductor. Este tiene como objetivo atenuar la magnitud de la variable procesada y transformarla – en forma proporcional – en una tensión o corriente cuya amplitud pueda ser procesada por un circuito de acondicionamiento lineal de baja tensión (3,3V).

El convertidor contempla distintos transductores que pueden utilizarse para la realimentación de señales, tales como:

- Sensores de efecto Hall a lazo abierto para la medición de corriente por las fases u , v y w .
- Sensores de efecto Hall a lazo cerrado para la medición de corrientes externas.
- Transformadores de potencial y de corriente (sólo aplicable a puertos operando en ca).
- Resistencias shunt.
- Divisores / Atenuadores resistivos.

El operador del convertidor puede seleccionar la metodología de medición según sea la aplicación. Algunos de estos transductores se encuentran fijos en el convertidor, mientras que otros pueden emplazarse fuera de él de forma de realimentar señales externas.

El segundo paso en la cadena de acondicionamiento de señal es el acondicionamiento estático de la señal provista por el transductor. Esta etapa tiene objetivo ajustar el rango de medición de la señal (según sean las especificaciones de diseño del convertidor) al rango de conversión del ADC, el cual es de 0 a 3V [6].

En el caso de las mediciones que procesan variables de ca, esta etapa también se encuentra a cargo de la aplicación de una polarización permanente de mitad de escala del ADC, en 1,5V.

La tercera etapa en el procesamiento de las señales de realimentación es el acondicionamiento dinámico. Esta acción tiene como objetivo reducir el ancho de banda de la variable medida de forma de evitar la presencia de *aliasing* al llevar a cabo la conversión analógica - digital. En todos los casos, el filtro aplicado sobre las mediciones es de tipo pasabajos.

La etapa de procesamiento dinámico debe ser cuidadosamente diseñada en función del contenido armónico de las señales a registrar y los sistemas de control a desarrollar. Un ejemplo claro de esto se observa en aplicaciones en donde el convertidor se debe conectar – por medio de sus fases u , v , w – a la red eléctrica. Esta aplicación requiere ejecutar la sincronización de la red por medio de un lazo de fijación de fase (PLL). Esto consiste en la estimación instantánea de la magnitud, frecuencia y ángulo de la tensión de la red eléctrica. Un eventual error de ángulo – causado por un ancho de banda reducido en las mediciones analógicas de tensión – puede ocasionar retardos que dificulten (e incluso imposibiliten) el intercambio de energía entre la red y el convertidor.

Por último, la señal debidamente filtrada es ingresada al pin del ADC del DSP. El ADC tiene un rango de conversión de 0 a 3V, con una resolución de 12 bits. La frecuencia de muestreo del ADC puede ser libremente definida por la configuración del programa bajo ejecución.

D. Comunicaciones

El CEMP cuenta con dos sistemas de comunicaciones.

El primero de ellos es la comunicación del DSP con una computadora por medio de un protocolo USB - JTAG. Este puerto de comunicaciones permite la programación *on-board* del DSP desde el software Code Composer Studio. Este es un software provisto por Texas Instruments para la programación de toda su familia de microcontroladores.

Además de la programación, el protocolo permite la depuración de los programas en tiempo real, permitiendo la inserción de *breakpoints*, visualización y modificación directa de variables y/o registros, entre otros.

El segundo puerto de comunicaciones del CEMP utiliza un protocolo CAN. Este puerto es inicialmente incluido para permitir la comunicación entre los distintos convertidores electrónicos que componen una microrred eléctrica.

E. Desarrollo final

Una fotografía del CEMP se presenta en la Fig. 6. Esta versión del equipo es denominada como *full-power*, en función de que cuenta con un disipador de aluminio que

permite alcanzar los valores nominales declarados. Esta versión del equipo es utilizada en la Universidad Nacional de Rosario como unidad de conversión para los elementos de generación y/o almacenamiento de una microrred eléctrica híbrida emplazada en el Laboratorio de Automatización y Control.



Fig. 6. Vista superior del CEMP, versión *full-power* para microrred.

Una segunda fotografía del CEMP se presenta en la Fig. 7. Esta es una versión *lite* utilizada para la enseñanza de topologías de convertidores. Esta versión cuenta con una potencia nominal menor en función de que el disipador de aluminio es reemplazado por un soporte metálico. Una bornera de acceso externa es utilizada para evitar el desgaste de las borneras del convertidor ocasionado por el uso del equipo en distintas actividades curriculares.



Fig. 7. Vista lateral del CEMP, versión *lite* para enseñanza de topologías de conversión.

El convertidor está compuesto por dos placas interconectadas entre sí:

- *Placa de control* (superior), en la que se ubican los elementos de acondicionamiento analógico, los sistemas de comunicaciones y la unidad digital de control.
- *Placa de potencia* (inferior), en donde se encuentran el chip de potencia, el bus de cc y la fuente de alimentación.

F. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas nominales del CEMP se resumen en la TABLE I. Se aclara que dichas especificaciones aplican a la versión *full-power*.

TABLE I. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMP

Especificaciones técnicas		
Variable	Mínimo	Máximo
Potencia nominal (@ $f_{PWM} = 5\text{kHz}$)	-	5.3kVA
Tensión de bus de cc	15V	350V
Tensión de fases u, v y w (cc)	0V	350V
Tensión de fases u, v y w (ca)	0 V _{RMS}	220V _{RMS}
Corriente de fases u, v y w (@ $f_{PWM} = 5\text{kHz}$)	-	13.8A _{RMS}
Frecuencia de modulación	5kHz	20kHz

Un resumen de las distintas mediciones disponibles por el convertidor se presenta en la TABLE II. Todas ellas están disponibles por el operador del equipo según sea la aplicación por desarrollarse.

TABLE II. MEDICIONES ANALÓGICAS DISPONIBLES

Mediciones analógicas disponibles		
Variable	Ubicación	Transductor utilizado
Corriente	Bus de cc	Shunt
	Batería	Shunt
	Fases u, v y w	Sensor de efecto Hall
	Fases u, v y w (externas)	Sensor de efecto Hall a lazo cerrado / Transformador de corriente
	Source de transistor inferior	Shunt
Tensión	Bus de cc	Divisor resistivo
	Fases u, v y w	Divisor resistivo
	Fases u, v y w (externas)	Transformador de tensión

G. Convertidores similares comercialmente disponibles

Existen diferentes proveedores de convertidores que ofrecen soluciones similares a las del convertidor electrónico multipropósito [7] [8] [9].

A continuación se listan los distintos puntos evaluados a partir de la información disponible según cada fabricante.

- Tecnología: existen convertidores conmutados con tecnología IGBT y SiC.
- Uso: la mayoría de los proveedores coinciden en la utilización de sus convertidores para proyectos de enseñanza, investigación y prototipado de convertidores.
- Capacidad: la capacidad (en kVA) de los equipos comercialmente disponibles comprende mayormente soluciones desde 2kVA hasta 60kVA.
- Estructura de potencia: se encuentran disponibles soluciones de convertidores trifásicos de dos niveles (como la presentada en la Fig. 1) y tres

niveles (configuración *neutral point clamped*, NPC). También es posible encontrar configuraciones monofásicas, como puente H semicompleto y completo [8].

- Modularidad: algunos proveedores ofrecen por separado a la etapa de potencia de la unidad de control. Esto permite cierta flexibilidad para el desarrollo de distintas estructuras de potencia.

III. APLICACIONES DEL CONVERTIDOR EN LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Esta sección presenta las cuatro aplicaciones básicas que el convertidor puede ejecutar según sea el programa cargado en su DSP:

- cc-cc (buck)
- cc-cc (boost)
- ca-cc (rectificador PWM)
- cc-ca (inversor PWM)

Es importante aclarar de antemano que las aplicaciones aquí presentadas entran dentro de la categoría de convertidores de corte y conducción controlada. Estas se caracterizan por la utilización de transistores, cuyo estado de conducción y de corte está directamente asociado al estado lógico de la señal de compuerta aplicada. Esta señal es generada por la unidad digital de control y en todos los casos es una señal digital modulada por ancho de pulso.

Los componentes pasivos externos de cada aplicación, como inductancias y capacitores, deben ser dimensionados e incorporados por el operador del convertidor de forma externa. El CEMP incluye todas las mediciones necesarias para la ejecución de un control a lazo cerrado sin importar la aplicación que fuese, pudiendo incluso realizarse la medición de una variable eléctrica externa al hardware del convertidor.

El enfoque del presente artículo en lo que respecta a la presentación de las aplicaciones del convertidor consiste en tres pasos:

- La presentación de la topología básica de conversión.
- La utilización de la etapa de potencia del CEMP según sea la topología seleccionada.
- La inclusión de componentes pasivos adicionales.

A. Boost

La configuración boost básica se presenta en la Fig. 8. Bajo condiciones de corriente ininterrumpida por la inductancia L, la tensión de salida, v_o , en función de la tensión de entrada, v_i , resulta [2]:

$$v_o = \frac{1}{1-\delta} \cdot v_i \quad (1)$$

donde δ es el ciclo de trabajo aplicado al transistor Q. Siendo que δ posee un rango de valores permitidos entre 0 y 1, esta topología permite obtener una tensión de salida cuya amplitud es superior a la tensión de entrada.

Este tipo de aplicación se caracteriza por el hecho de que la corriente provista por la fuente v_i es igual a aquella circulante por la inductancia.

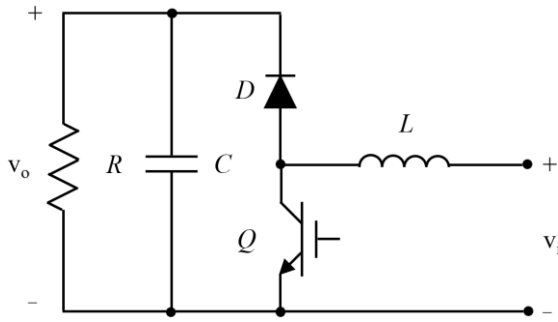


Fig. 8. Diagrama circuital simplificado de un convertidor boost.

La utilización de la etapa de potencia del CEMP para la aplicación del convertidor boost se presenta en la Fig. 9. Esta aplicación requiere de la utilización de un transistor inferior y el diodo *free-wheel* superior. Es importante aclarar que la operación de los tres transistores inferiores y los tres diodos *free-wheel* superiores en paralelo es posible, permitiendo así incrementar el nivel de potencia procesable por la aplicación.

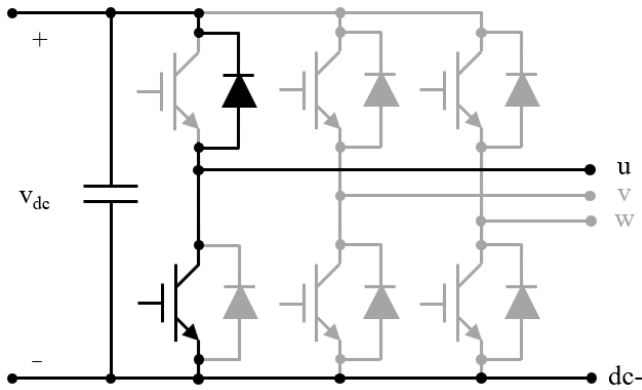


Fig. 9. Utilización de la etapa de potencia del CEMP como boost.

La utilización de componentes pasivos externos al convertidor para la implementación de esta aplicación se muestra en la Fig. 10. Se observa que ésta requiere únicamente de un inductor externo en virtud de que el capacitor del bus de cc funciona como capacitor de filtro para la carga R .

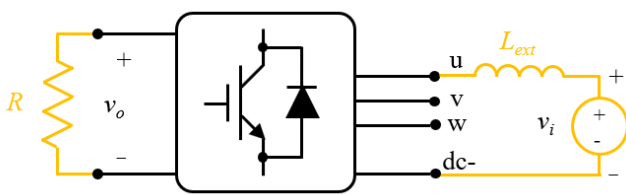


Fig. 10. Diagrama esquemático simplificado de configuración boost con CEMP.

B. Buck

La configuración buck básica se presenta en la Fig. 11. Bajo condiciones de corriente ininterrumpida por la inductancia L , la tensión de salida, v_o , en función de la tensión de entrada, v_i , resulta [2]:

$$v_o = \delta \cdot v_i \quad (2)$$

Siendo que δ posee un rango de valores permitidos entre 0 y 1, esta topología permite obtener una tensión de salida cuya amplitud es inferior a la tensión de entrada.

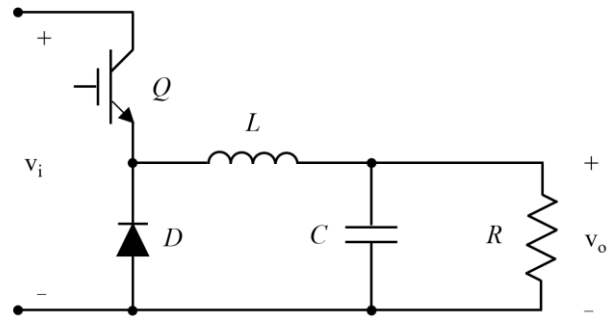


Fig. 11. Diagrama circuital simplificado de un convertidor buck.

La utilización de la etapa de potencia del CEMP para la aplicación de este tipo de convertidor se presenta en la Fig. 12. A diferencia de la topología boost, esta aplicación requiere de la utilización de un transistor superior y el diodo *free-wheel* inferior. La operación en paralelo de los dispositivos semiconductores es también aplicable a esta topología.

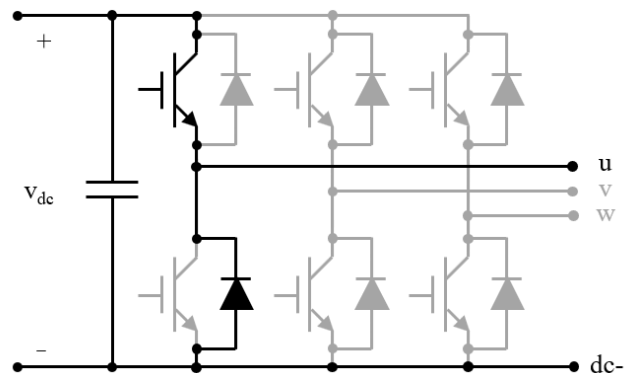


Fig. 12. Utilización de la etapa de potencia del CEMP como buck.

La utilización de componentes pasivos externos al convertidor para la implementación de esta aplicación se muestra en la Fig. 13. Esta topología requiere de la conexión externa de un inductor y un capacitor.

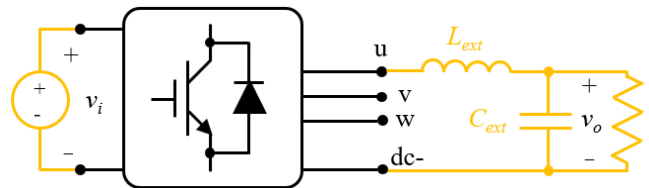


Fig. 13. Diagrama esquemático simplificado de configuración buck con CEMP.

C. Aplicaciones buck y boost polifásicas

De acuerdo a lo descrito anteriormente, los convertidores buck y boost presentados anteriormente tienen la posibilidad de operar con sus dispositivos semiconductores en paralelo a los efectos de aumentar la potencia procesable por el convertidor.

Una mejora sobre las anteriores configuraciones es la implementación de convertidores cc-cc polifásicos. La

literatura técnica en inglés denomina a este tipo de configuraciones como *interleaved*.

Un ejemplo de aplicación cc-cc trifásico se presenta en la Fig. 14. En ellas, las fuentes v_1 y v_2 pueden representar a una fuente o un sumidero de potencia. Cualquiera de estas fuentes puede ser reemplazada por una resistencia de carga, tal como se presentase en la Fig. 10 – para un boost – o en la Fig. 13 – para un buck –. La Fig. 14 sirve para entender que el comportamiento bidireccional – en lo que respecta al flujo de potencia – aplica también para topologías cc-cc implementadas con el CEMP.

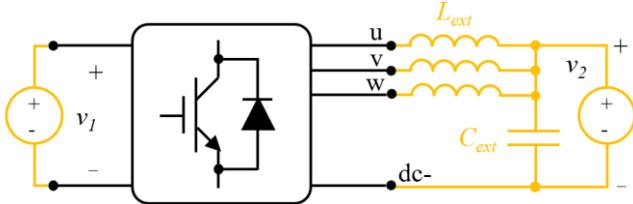


Fig. 14. Aplicación de fuente cc-cc polifásica.

La técnica de modulación polifásica para convertidores cc-cc permite reducir el tamaño de los filtros del equipo al incrementar la frecuencia de conmutación efectiva [10] vista por el capacitor C_{ext} .

D. Inversor PWM

El CEMP puede operar como inversor PWM monofásico o trifásico.

La operación como inversor monofásico contempla la operación de dos piernas cualesquiera del convertidor, como muestra la Fig. 15. Las técnicas de modulación quedan a decisión del operador, siendo la modulación bipolar y unipolar las utilizadas en la mayoría de las aplicaciones [5]. Modulaciones híbridas, como la presentada en [11], también pueden ser ejecutadas por el CEMP.

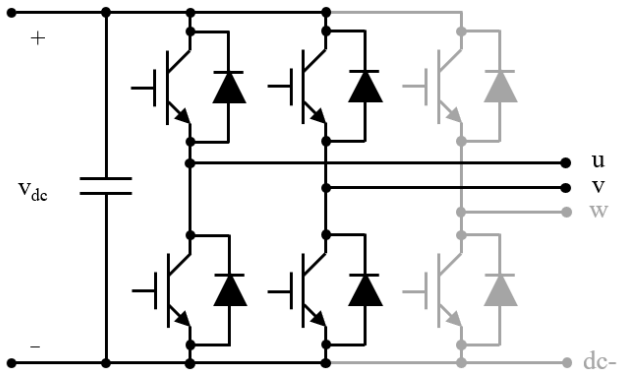


Fig. 15. Utilización de la etapa de potencia del CEMP como inversor PWM.

La interconexión del CEMP con los componentes pasivos externos para la ejecución de un inversor PWM monofásico se muestra en la Fig. 16. Dependiendo de las características de la carga, puede ser necesaria la inclusión de un filtro LC, compuesto por L_{ext} y C_{ext} , que permita reducir la distorsión armónica de la tensión aplicada a la carga.

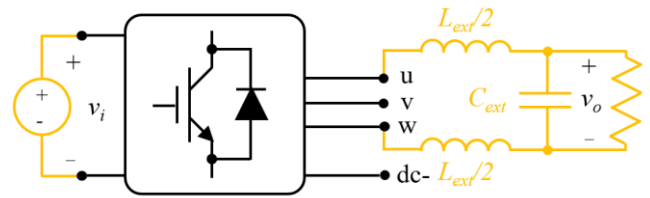


Fig. 16. Implementación de inversor monofásico con CEMP.

La operación como inversor trifásico requiere de la utilización de todos los dispositivos semiconductores del puente. Este tipo de aplicación es muy común en los variadores de velocidad de motores eléctricos. El ejemplo de utilización del CEMP para dicha aplicación se presenta en la Fig. 17.

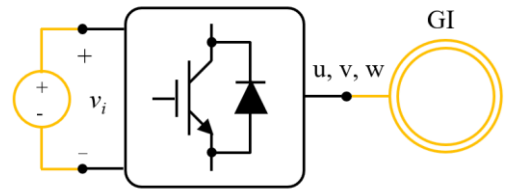


Fig. 17. Implementación de variador de velocidad con CEMP.

E. Rectificador PWM

El CEMP puede operar como rectificador PWM monofásico o trifásico. En ambos casos, el rectificador utiliza los mismos dispositivos semiconductores que los presentados para el inversor PWM.

La implementación de este tipo de topología de conversión con el CEMP se observa en la Fig. 18 (para el caso monofásico) y en la Fig. 19 (para el caso trifásico).

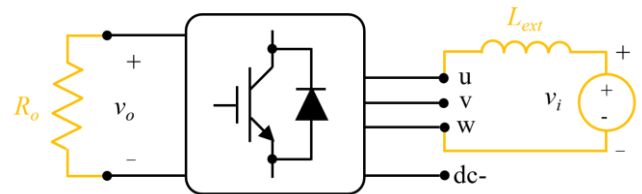


Fig. 18. Implementación de rectificador monofásico con CEMP.

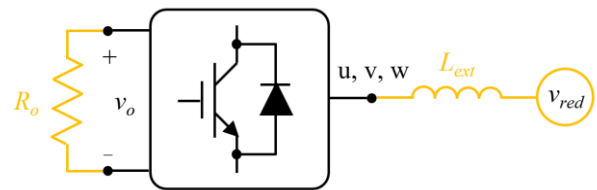


Fig. 19. Implementación de rectificador trifásico con CEMP.

F. Convertidor back-to-back

La conversión ca-ca puede ser realizada por el CEMP por medio de una configuración *back-to-back*. Este tipo de topología requiere de dos CEMP, cuyos buses de cc se encuentran conectados en forma directa. La Fig. 20 presenta en forma gráfica dicha aplicación. En ella se observa que uno de los convertidores opera como rectificador, mientras que el otro lo hará como inversor.

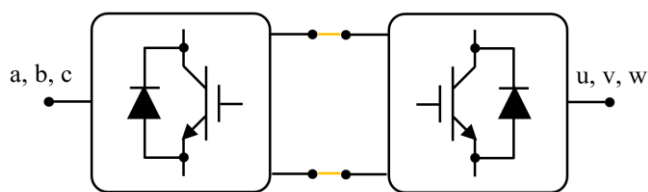


Fig. 20. Aplicación de convertidor back-to-back con dos CEMP

La configuración *back-to-back* permite la conversión ca-ca en las que los puertos *a, b, c* pueden operar a una frecuencia eléctrica diferente de la de los puertos *u, v y w*. A su vez, el flujo de potencia activa entre estos puertos puede ser revertido.

Las configuraciones *back-to-back* son ampliamente utilizadas en variadores de velocidad de motores con frenado regenerativo y en la industria de la energía eólica para aerogeneradores de gran potencia.

IV. RESULTADOS

Actualmente la Universidad cuenta con un total de dieciséis CEMP, siendo cuatro de ellos la versión *full-power* y los restantes doce la versión *lite*.

Los convertidores *full-power* se desempeñan como unidad de conversión en los elementos de generación y almacenamiento de energía en la microrred eléctrica híbrida implementada en el Laboratorio de Automatización y Control de la Universidad, denominada REILAC.

Bajo este proyecto de investigación, los convertidores sirven como plataforma de hardware para la ejecución de distintos proyectos finales de ingeniería por parte de alumnos de la carrera de Ingeniería Electrónica. Entre ellos se destacan:

- Almacenamiento de energía en volante de inercia, por medio de una configuración cc-ca bidireccional.
- Intercambio de potencia con la red eléctrica por medio de una aplicación cc-ca bidireccional (proyecto en etapa de finalización).
- Almacenamiento de energía con supercapacitores por medio de una aplicación cc-cc bidireccional (proyecto en etapa de desarrollo).
- Rectificador PWM para inyección de potencia en una subred de cc desde un generador asincrónico accionado por una turbina eólica emulada físicamente.

Los resultados de la implementación de esta microrred en el desarrollo de los estudiantes de grado que realizan su Proyecto Final de Ingeniería en el Laboratorio de Automatización y Control son presentados en [12].

Los convertidores *lite* son usados por la Cátedra de Electrónica de Potencia de la Universidad en dos asignaturas de grado.

La primera de ellas es un curso introductorio a la Electrónica de Potencia, en la que se presentan las topologías clásicas de conversión cc-ca, cc-cc y ca - cc. En ella, los CEMP son utilizados para la presentación práctica de estas topologías. El objetivo de la utilización de los CEMP es mostrar en vivo las formas de onda de interés por medio de un

osciloscopio digital, apuntando así a la minimización de los tiempos de presentación de temas en pizarra y a la extensión del tiempo en que los alumnos operan con equipos reales e instrumental de laboratorio.

La segunda asignatura está relacionada con el estudio dinámico de las topologías presentadas en el primer curso y el desarrollo de los sistemas de control necesarios. Este curso se ve claramente beneficiado por la utilización del CEMP en vista de que permite el estudio y síntesis de controladores digitales por parte de los alumnos sin la necesidad de diseñar y/o armar placas de circuito impreso externas.

V. CONCLUSIONES

Se presenta una plataforma de hardware para la enseñanza de distintas topologías de conversión de energía por medio de dispositivos semiconductores de corte y conducción controlada.

El desarrollo del convertidor, en lugar de la compra directa de una solución comercial, permite la formación de RR.HH. de la Universidad Nacional de Rosario en la temática. A su vez, los equipos desarrollados resultan más económicos. Este punto resulta crítico para las universidades argentinas, en donde el presupuesto asignado para los laboratorios puede ser limitado para la adquisición de equipos comerciales.

La fabricación de los equipos también garantiza la disponibilidad de la documentación necesaria para su reparación en caso de falla, lo cual tiene una alta probabilidad cuando los convertidores son empleados en escenarios de enseñanza y prototipado.

La operación de este convertidor permitirá a los alumnos comprender aspectos prácticos de la Electrónica de Potencia de una forma completa, interrelacionando los contenidos de distintos cursos abordados en la formación de grado, tales como control, teoría de sistemas y señales, electrónica analógica y digital.

La plataforma desarrollada provee una solución integral para la ejecución de actividades de laboratorio, así como su utilización para proyectos finales y/o actividades de investigación siendo que:

- Cuenta con un sistema de control digital, implementado con un DSP, lo que permite la síntesis de controles particulares para cada aplicación.
- No requiere del diseño y construcción de placas de circuito impreso adicionales, contando así con todos los circuitos necesarios para su operación en cualquiera de las topologías presentadas.
- Los elementos pasivos externos, tales como inductores y capacitores, son fácilmente conectables al convertidor.

En lo que respecta a la opinión de los alumnos, se releva un importante porcentaje de aceptación en la utilización de esta plataforma de hardware, siendo los puntos más resaltados:

- Aplicación práctica de contenidos vistos en otras asignaturas de la carrera.
- Reducción del espacio de clases teóricas, siendo reemplazadas por clases prácticas.

- Incremento en la frecuencia de utilización del instrumental de laboratorio.
- Implementación real de convertidores conmutados.

Es importante aclarar que no existen métricas aún para la evaluación a mediano y largo plazo de la incidencia del convertidor multi-propósito en la enseñanza de la electrónica de potencia en virtud de que su utilización se inició en el segundo semestre del año 2019.

Otro punto importante detectado es el creciente interés por parte de los estudiantes en el desarrollo de aplicaciones de Electrónica de Potencia que incluyan al CEMP como parte de su proyecto final de ingeniería. Esto involucra tanto al Laboratorio de Automatización y Control como a la Cátedra de Electrónica de Potencia.

Así, la inclusión del convertidor al instrumental de la Universidad ha permitido incrementar el número de proyectos finales asociados a la Electrónica de Potencia. Éstos han sido históricamente escasos si son comparados con el número de proyectos asociados a otras ramas de la electrónica. Distintas causas han motivado esto, entre las que destacamos:

- Los proyectos asociados a la electrónica de potencia son generalmente más largos.
- El costo de los equipos, de no ser un proyecto promovido por un laboratorio o cátedra, debe ser afrontado por los alumnos. Los costos de un proyecto asociado a la electrónica de potencia pueden ser ampliamente superiores a los de otras ramas.
- Hace años se detecta que un importante porcentaje de los estudiantes de último año se encuentran insertados laboralmente, lo que incide en contra de la elección de proyectos finales que puedan resultar extensos y con una alta dedicación semanal.

REFERENCIAS

- [1] E. C. dos Santos Jr. y E. R. Cabral da Silva, "Advanced power electronics converters: PWM converters processing AC voltages". Ed. John Wiley & Sons Ltd. Hoboken, 2015, ISBN 9781118880944.
- [2] N. Mohan, T. Underland, y W. Robbins, "Power electronics: converters, applications and desing". Ed. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 2003, ISBN 0471226939.
- [3] P. Amoedo, E. Schmittendorf. "Convertidor multipropósito con aplicación en redes híbridas inteligentes de generación eléctrica a partir de fuentes renovables". Proyecto Final de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, *Universidad Nacional de Rosario*. Rosario, 2016.
- [4] P. Amoedo, E. Schmittendorf, D. Alba, A. Vazquez Sieber. "Convertidor multipropósito con aplicación en redes híbridas inteligentes de generación eléctrica a partir de fuentes renovables". En *X Jornada de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Rosario*. Rosario, 2016.
- [5] R. Teodorescu, M. Liserre y P. Rodríguez. "Grid converters for photovoltaic and wind power systems". Ed. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 2011, ISBN 9780470057513.
- [6] Texas Instruments. "TMS320x2833x Analog to Digital Converter (ADC) Module, Reference Guide". Dallas, 2007. Disponible en internet: http://e2e.ti.com/cfs-file/_key/communityserver-discussions-components-files/171/2260.TI_5F00_TMS320x2833x-Analog_2D00_to_2D00_Digital-Converter.pdf
- [7] Power converter. teknoCEA. Barcelona. Disponible en internet: <https://www.teknocea.cat/components/power-converter>
- [8] Power modules. imperix. Disponible en internet: <https://imperix.ch/products/power>
- [9] PCB-based Inverter Platforms. Creative Power Technologies. Disponible en internet: <http://www.creativepower.com.au/products/pcbbasedIP.html>
- [10] Thiyagarajan, A., Praveen Kumar, S. G., & Nandini, A. "Analysis and comparison of conventional and interleaved DC/DC boost converter". En *Second International Conference on Current Trends In Engineering and Technology*, pp. 198-205. Coimbatore, 2014.
- [11] Texas Instruments. "Design guide: TIDM-HV-IPH-DCAC. Voltage source inverter reference design". Dallas, 2019. Disponible en internet: <http://www.ti.com/lit/ug/tiduay6d/tiduay6d.pdf>
- [12] J. Ezpeleta, S. Junco, D. Alba. "Development of an experimental electric micro smart grid with renewable sources and energy storages through final electronics engineering projects". En *Fourteenth International Conference In Technology, Teaching and Learning of Electronics*. Porto, 2020.



Session TS-6B

Trends in Education V

TAAE, marcador de la divulgación científica

Manuel Blázquez Merino
I.E.S. Ramiro de Maeztu-UNED
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0002-6462-9196>
mbblazquez@ieec.uned.es

Juan Domingo Aguilar Peña
Universidad de Jaén
Jaén, España
jaguilar@ujaen.es

M^a Asunción Morales Santana
Universidad de las Palmas de Gran
Canaria
Las Palmas de Gran Canaria, España
asuncion.morales@ulpgc.es

Catalina Rus Casas
Universidad de Jaén
Jaén, España
crus@ujaen.es

Camilo Quintans Graña
Universidad de Vigo
Vigo, España
quintans@uvigo.es

Sergio López Gregorio
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España
sergio.lopez@upm.es

Jorge Juan Chico
Universidad de Sevilla
Sevilla – España
jjchico@dte.us.es

Jesús Arriaga García de Andoain
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España
jesus.arriaga@upm.es

Manuel A. Castro
Universidad Nacional de Educación a
Distancia (UNED)
Madrid – España
mcastro@ieec.uned.es

Abstract— Con la celebración del congreso de Oporto de 2020, TAAE se ha consolidado como una asociación que ha sido testigo de los profundos cambios que han ocurrido tanto en el ámbito tecnológico como educativo en las últimas tres décadas. En esta comunicación, se analizan las publicaciones de los autores de TAAE y se muestran datos relevantes de la evolución que docentes e investigadores han proporcionado con su actividad divulgativa.

Keywords— TAAE, análisis, datos, estadísticas, relaciones, organismos, congreso

I. INTRODUCCIÓN

Desde su fundación en 1994, la asociación de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAAE) ha cumplido 27 años de existencia. A lo largo de este tiempo, TAAE ha sido testigo de los cambios y evolución del campo de la Electrónica en casi tres décadas de absoluta revolución tecnológica, participando con sus acciones en la divulgación científica y técnica, como actor principal en estos avances, dando a conocer a través de sus congresos, actividades y vinculación con el mundo académico e industrial, muchos de los logros investigadores y muchos de los esfuerzos de cambio en las metodologías de enseñanza y aprendizaje.

Los autores han sabido incorporar en sus prácticas docentes las tecnologías desarrolladas con los primeros pasos de la Web y su incorporación al mundo académico en la década de los años noventa, los desarrollos en el ámbito de la robótica, el empleo de múltiples innovaciones e invenciones electrónicas en cada época, como lo fueron la incorporación en los laboratorios de FPGAs (Field-Programmable Gate Array), la realidad aumentada, los laboratorios remotos o incluso de los últimos desarrollos en el ámbito de la programación, simuladores, laboratorios virtuales o los desarrollos en el campo del Internet de la Cosas.

II. ALCANCE DEL TRABAJO

La presente investigación se originó en 2008 cuando se acometieron trabajos de análisis y homogeneización de todas las publicaciones llevadas a cabo por TAAE a través de sus

congresos bianuales [1]. En dichos trabajos se constató la necesidad de unificar el formato de los artículos que se guardaban en diferentes formatos físicos y se digitalizaron. Juntamente con esta labor, se procedió a extraer los metadatos de cada ponencia entre los que figuraban los datos de: autores, organismos ponentes, fechas de presentación, sesiones y congresos en los que se publicaron los artículos, formato de estos, resumen, palabras clave empleadas en cada artículo, entre otros metadatos. En total, se acumularon 33 metadatos por cada documento.

En el proceso se observó también la necesidad de establecer una ontología que cubriera todos los ámbitos científicos, técnicos y académicos, que sirvieran de referencia para la clasificación pasada y futura de todas las temáticas tratadas en los congresos TAAE.

La ontología TAAE establece 9 áreas que se descomponen en diversas subclases. Si bien dicha ontología ya se ha presentado en diversas publicaciones pasadas relacionadas con el análisis de los trabajos TAAE, en la tabla I, se indican la lista de áreas de esta:

TABLA I. ÁREAS DE LA ONTOLOGÍA TAAE

Área	Descripción
01	Sistemas
02	Dispositivos y componentes
03	Instrumentación y medida
04	Automática
05	Robótica
06	Laboratorios
07	Software Educativo
08	Docencia
09	Técnicas de implementación y realización práctica

El establecimiento de la ontología TAAE ha permitido determinar un sistema de codificación rápido y eficaz a cada uno de los artículos. Dicho sistema se basa en asignar códigos ontológicos múltiples a cada artículo, con el fin de precisar la temática tratada. En el proceso de asignación es lo que se ha

denominado impacto ontológico. Así, por ejemplo, si una publicación expone los resultados de aprendizaje obtenidos en una experiencia didáctica llevada a cabo con una metodología innovadora mediante el uso de un laboratorio remoto para el estudio de los circuitos digitales, la publicación tendrá asignados al menos un impacto procedente del área 01 (Sistemas), 06 (Laboratorios) y 08 (Docencia). Cuantos más impactos significativos reciba una publicación, mayor precisión en el tratamiento de su temática.

En una segunda vuelta de los datos, se decidió darle un enfoque práctico a los trabajos para que los usuarios pudieran, no solamente acceder al contenido de cada publicación, sino que además se ahondara en el grado de penetración en la información que cada ponencia contenía. Esto significa la extracción física de la información gráfica de las figuras y la información textual de las tablas, programas informáticos y desarrollos matemáticos incluidos en cada ponencia. La idea se basaba en que cualquiera que tuviera acceso a la información de TAEF pudiera acceder a estos elementos-hijo con objeto de reutilizarlos para fines académicos [2, 3, 4]. En cierto modo, la gran cantidad de datos acumulados permitiría, por ejemplo, reutilizar los objetos TAEF para la creación de nuevos cursos.

Al terminar dicho trabajo en 2008 se decidió que, dado que se habían superado las expectativas respecto a los objetivos iniciales del proyecto y que, por lo tanto, los resultados habían sido satisfactorios, la extracción, clasificación y creación de archivos de metadatos [5, 6, 7, 8] siguiera aplicándose a la información acumulada en los posteriores congresos de 2010, 2012, 2014, 2016 y 2018.

A fin de ser más explícito con el tratamiento de los datos se ha de indicar que los metadatos recopilados son de dos tipos, aquellos que son únicos asociados a una publicación y aquellos que forman una información múltiple. En el caso del primer tipo, se ha desarrollado un sistema de codificación consistente que identifica de forma unívoca a un grupo de metadatos y que relaciona de esta forma al archivo de la ponencia y a los archivos de los objetos que la ponencia incluye (elementos-hijo). Dicho código tiene una longitud fija y muestra la información de congreso, sesión y orden de exposición de la ponencia.

Así, si en 2016 se expuso en tercer lugar una ponencia en la sesión 1B, el código asociado a dicha ponencia será 2016S1BA03 y relacionará todos los metadatos de la ponencia con todos los objetos físicos que esta incluya. Por consiguiente y mediante esta metodología, una fotografía que identifique un aspecto de los contenidos de la ponencia del ejemplo anterior y que se encuentre en segundo lugar en la publicación, tendrá asignado el código 2016S1BA03F02 y como consecuencia, al archivo que se genere con la extracción de la propia fotografía se le asignará un nombre homónimo. Este sistema de codificación resulta consistente y permitirá llevar a cabo una rápida identificación y establecerá todos los vínculos de acceso a todos los artículos y sus elementos-hijo.

Del análisis del tipo de hijos encontrados en los artículos TAEF, se ha establecido una tipología para identificar dichos objetos [9, 10, 11, 12, 13]. La tipología identificará a fotografías (F), esquemas eléctricos y electrónicos (E), diagramas (D), Textos con códigos fuente de programas y desarrollos matemáticos significativos (T), tablas de datos (R), gráficos (G) y capturas de pantalla (W) que normalmente aluden a aplicaciones informáticas y webs.

De los 33 metadatos que conforman la identificación de un objeto TAEF, los campos únicos corresponden con aquellos que identifican:

- El código TAEF asignado,
- El congreso,
- La sede de celebración,
- El año de celebración,
- El código asignado a la sesión
- La descripción de la sesión,
- La fecha en que se expuso la ponencia,
- El idioma empleado en la ponencia (castellano, portugués o inglés)
- El resumen de la ponencia,
- El nombre del archivo,
- La licencia de copyright, etc.

De la misma forma, se identifican también otros metadatos de carácter múltiple, que posteriormente han sido tratados para su individualización, como son:

- La lista de autores,
- Los departamentos a los que pertenecen,
- Los organismos de procedencia de los autores,
- Los países de procedencia de los organismos,
- La lista de palabras clave incluidas,
- La lista de referencias bibliográficas,
- Los códigos de clasificación ontológica (impactos),
- Las descripciones de las clases ontológicas,
- Los códigos WIPO asociados como segunda definición de clase (*World Intellectual Property Organization*)
- La descripción de cada código WIPO, etc.

Por consiguiente y con el fin de poner de manifiesto el alcance de los trabajos, en la siguiente tabla II se exponen los datos generales relacionados con el proyecto:

TABLA II. DATOS GENERALES HISTÓRICOS DE TAEF

<i>Datos</i>	<i>Cantidad (unidades)</i>
Congresos TAEF	13
Sesiones en congresos TAEF	233
Artículos publicados en TAEF	1402
Organismos participantes	240
Autores participantes	2.623
Países de procedencia de los participantes	28

Además de estos datos generales, otras informaciones de interés se exponen en la tabla III en relación con la información incluida en los metadatos de cada ponencia.

TABLA III. DATOS ESPECÍFICOS INCLUIDOS EN LOS MÉTADATOS DE LOS OBJETOS TAAE

<i>Datos</i>	<i>Cantidad (unidades)</i>
Referencias bibliográficas extraídas	10.141
Keywords contabilizadas	7.327
Keywords diferentes	2.409
Grupos ontológicos diferentes utilizados al menos 1 vez	100
Impactos ontológicos	4.246

III. ANALISIS GENERAL DE LOS CONGRESOS TAAE

En la serie histórica 1994-2018 de TAAE se han celebrado 13 congresos en diversas sedes. La participación ha sido homogénea admitiéndose en cada congreso un número de artículos variable pero cercano a los 90.

El proceso de admisión de publicaciones se realiza de igual forma en cada edición. Primeramente, se hace una llamada a ponencias en las que se admiten resúmenes extendidos. Tras una selección, se invita a los aceptados a entregar el artículo fruto de sus investigaciones, de los cuales hay una selección final de artículos que se asienten para formar parte del congreso. En todo este proceso, se cuenta con un equipo de revisores que proceden a llevar a cabo el proceso de depuración de los artículos entregados.

Por otro lado, el comité organizador de cada congreso establece las sesiones que se llevan a cabo. En este sentido, desde la incorporación de la ontología TAAE, se ha seguido un criterio común de agrupamiento de estas, tratando de dar presencia a todas las temáticas. Se siguen manteniendo una sesión de Posters y otra de Demostradores, cuyas primeras incorporaciones se dieron en el congreso de 2000. Debe tenerse en cuenta que los Congresos TAAE siempre han dado una gran importancia al aprendizaje basado en la práctica.

Para la comunidad TAAE han sido elementos esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje recursos como los laboratorios, el uso de entrenadores, la relación con la industria, las metodologías innovadoras de práctica de los conocimientos, etc.

En definitiva, si se aplica la ontología TAAE a la temática general de las sesiones propuestas por los diferentes comités organizadores, se obtiene una distribución como la incluida en la tabla IV:

TABLA IV. DISTRIBUCIÓN TEMÁTICA DE SESIONES EN LOS CONGRESOS TAAE

<i>Familia</i>	<i>% Artículos</i>
Sistemas	27,32%
Dispositivos	3,62%
Instrumentación	2,45%
Control y Automática	1,40%
Robótica	1,34%
Laboratorios	3,47%
Software Educativo	23,11%
Docencia	35,63%
Realizaciones prácticas	1,66%

A la vista de los datos indicados en las tablas II y III, se puede considerar que TAAE ostenta un magnífico fondo documental, del que se pueden beneficiar la comunidad educativa. En cierto modo, es una perfecta radiografía de las tendencias en la enseñanza de la electrónica a lo largo de casi

tres décadas. En este tiempo, algunos temas han pasado a la obsolescencia, mientras que otros han emergido y han sido incorporados en las aulas y en la industria. Dicho fondo documental, se compone de artículos, objetos de aprendizaje, recursos, etc., cuyo uso porcentual se expone en la tabla IV. De forma general, en relación con el fondo documental generado a lo largo de todo este tiempo, en la tabla V y figura 1 se han representado respectivamente los datos absolutos de artículos presentados en los congresos y un gráfico de datos porcentuales de la contribución de cada congreso en el conjunto de las publicaciones.

TABLA V. DATOS GENERALES HISTÓRICOS DE TAAE

<i>Congreso</i>	<i>Artículos</i>
Madrid-1994	63
Sevilla-1996	120
Madrid-1998	68
Barcelona-2000	152
Las Palmas de Gran Canaria-2002	119
Valencia-2004	157
Madrid-2006	166
Zaragoza-2008	119
Madrid-2010	91
Vigo-2012	89
Bilbao-2014	92
Sevilla-2016	81
Tenerife-2018	85
Total	1402

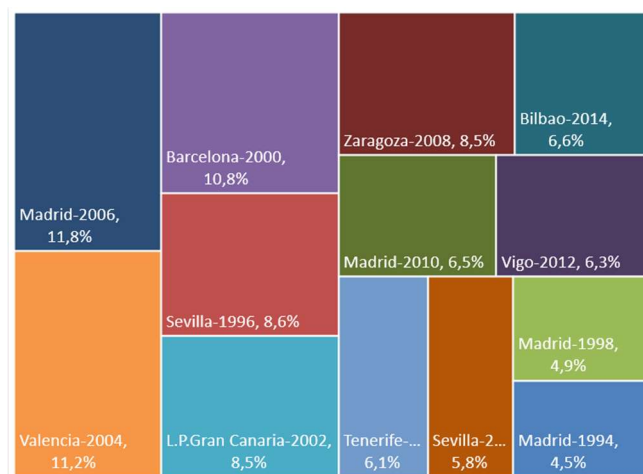


Fig. 1. Distribución porcentual de artículos en TAAE por sede

IV. ESTUDIO DE AUTORES Y ORGANISMOS

Los autores y las universidades anfitrionas son los principales valedores de la continuidad de los congresos TAAE. En cierto modo, su participación ha servido para mantener la propia asociación, el fondo documental y el centro de recursos. En total, tal y como se indica en la tabla II, un total de 2623 autores provenientes de 240 diferentes instituciones de 28 países diferentes han contribuido en el histórico de TAAE.

Esto significa que la media de autores en cada congreso es de 417 participantes. En la figura 2, se muestra la evolución porcentual de participación en cada congreso, en la que se marca el valor medio con un porcentaje del 100%. Así, se observa que los congresos entre 2000 y 2010 tuvieron una participación de autores superior a la media, mientras que los primeros y las últimas ediciones tuvieron menor participación.

El valor medio de autores por artículo es de 1,87, siendo la participación múltiple preferida la del rango entre 2 y 5 autores participantes en cada artículo. En concreto el 49% de los autores han preferido firmar sus artículos en equipos formados por 3 o 4 colegas. Independientemente de la formación de equipos de trabajo, tal y como indican los valores de la figura 2, se observa una tendencia a la reducción de estos, asociada al menor número de artículos admitidos en las últimas ediciones respecto a los máximos de participación de autores en la década de 2000.

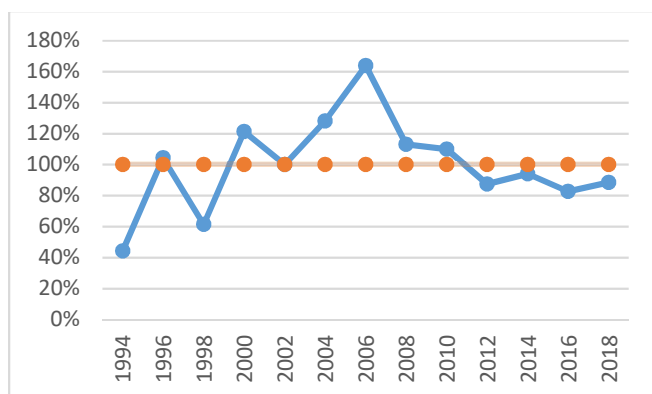


Fig. 2. Comparación histórica de participantes en TAEE

Los autores han participado en asociaciones variadas en sus artículos. De hecho, lo habitual en TAEE es encontrar equipos de trabajo, en ocasiones multidisciplinares, lo que creemos que es un aspecto muy positivo, ya que dinamiza la presentación de investigaciones y fomenta la colaboración entre colegas e instituciones. En este caso, esto ha sucedido en 183 artículos, en los que lo habitual ha sido la colaboración entre dos organismos, el 10,1% de los artículos presentados. En menor cuantía, la colaboración internacional entre organismos procedentes de diferentes países ha sido presentados 44 artículos en asociación entre organismos internacionales. Respecto a las colaboraciones entre organismos, se observa una tendencia en aumento, tal y como muestra la línea de tendencia polinómica de la figura 3, si bien los datos de las últimas 5 ediciones han sido muy dispares.

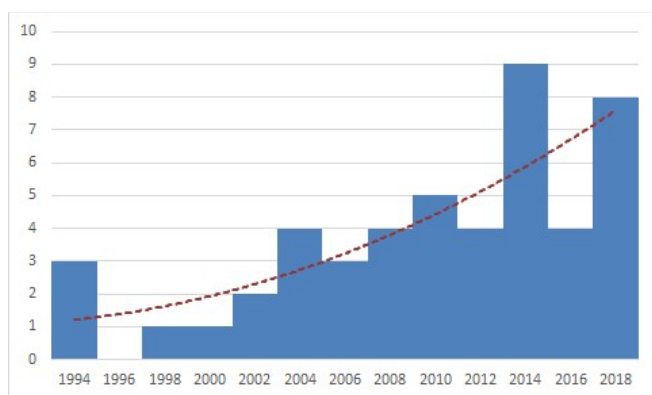


Fig. 3. Publicaciones en las que han colaborado varios organismos

En la figura 4, se muestra un gráfico en el que se observa la evolución comparativa de los grupos de autores firmantes de los artículos, y en la que se observa como tendencia, el

aumento de los equipos de más de 5 autores en detrimento de asociaciones más habituales en otras ediciones como la de parejas de autores o de 4 autores conjuntos. Las asociaciones de 3 y 5 autores se mantienen estables en el tiempo. Como se observa, no es habitual encontrar en TAEE autores únicos firmantes de una ponencia; de hecho, tiende a desaparecer en el tiempo.

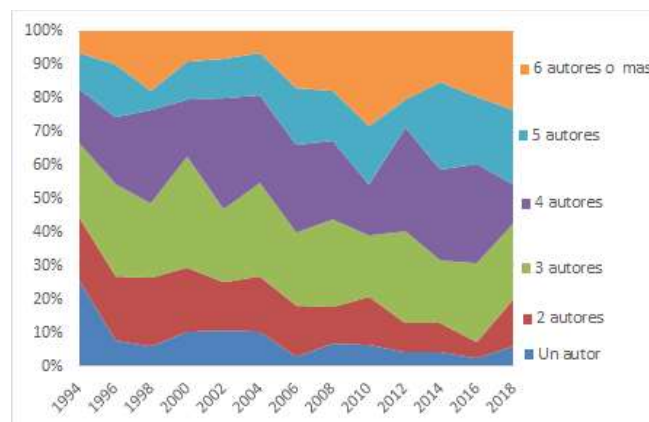


Fig. 4. Distribución de porcentaje de artículos por número de autores

De todos los autores, tan solo 40 han participado en al menos 10 congresos de la historia de TAEE. Es de especial relevancia, la plena participación del Dr. Manuel Castro en los 13 congresos y de los doctores Juan Domingo Aguilar-Peña, Enrique Mandado Pérez y Manuel Valencia-Barrero con participación en 12 congresos.

En relación con los organismos que representan los autores, los artículos de instituciones españolas son los más habituales en los congresos TAEE, existiendo una significativa y habitual participación de organismos procedentes de Portugal, Colombia, Cuba, Argentina y Uruguay. En total, en la historia de TAEE han participado organismos procedentes de 28 países, destacando la incorporación reciente de organismos procedentes de China, único representante asiático. En la figura 5, se ha representado la evolución en la participación de organismos por continentes, excluyendo las publicaciones realizadas por organismos españoles.

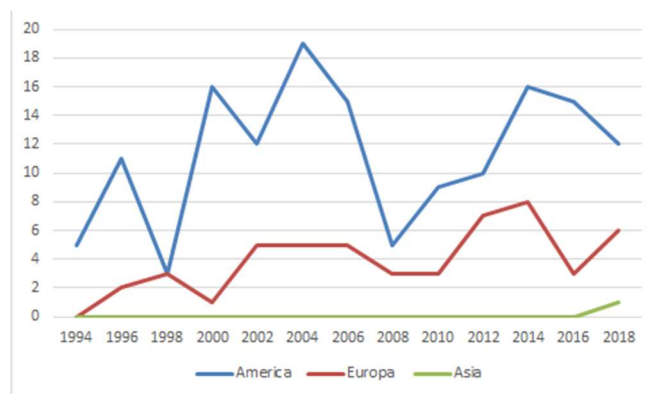


Fig. 5. Distribución de organismos participantes por continente

De forma general, el número total de organismos que han participado en alguna edición de TAEE es de 240, lo que ofrece el valor medio de 5,85 artículos por organismo. En cada congreso, el número de organismos participantes es variable y se muestra en la figura 6, donde se incluye la línea horizontal representativa del valor medio de 130 organismos

participantes en los artículos TAAE. Se observa una evolución similar al análisis expuesto en la figura 2.

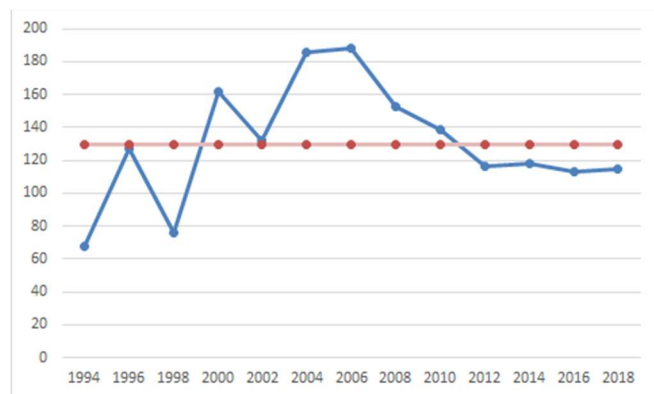


Fig. 6. Evolución del número de organismos participantes por congreso

Del total de 240 organismos, se puede decir que los habituales en la mayoría de los congresos coincide con los que contribuyen con mayor número de artículos. Este número de habituales son 16 universidades españolas de las que se da cuenta en la tabla VI. Cabe indicar que en la citada tabla se han incluido aquellos organismos con participaciones superiores o iguales a 10 congresos. Existen un número de organismos que quedan fuera de la lista de la tabla por su menor participación, aunque hayan publicado más artículos en el conjunto de los congresos TAAE.

TABLA VI. ORGANISMOS CON MAYOR PARTICIPACIÓN EN TAAE

Organismo	Artículos	Congresos
Universidad de Sevilla	142	13
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)	94	13
Universidad de Zaragoza	92	13
Universidad de Vigo	77	13
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)	71	13
Universidad de Jaén	60	13
Universidad Politécnica de Valencia	92	12
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	90	12
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)	61	12
Universidad de Alcalá de Henares (UAH)	39	12
Universidad de Deusto	45	11
Universidad de Cantabria	19	11
Universidad Politécnica de Cataluña	60	10
Universidad de Córdoba	35	10
Universidad de Barcelona	21	10
Universidad de la República de Uruguay	15	10

V. ANALISIS DE TEMÁTICA Y ONTOLOGIA TAAE

Como se ha comentado en la sección II, se ha procedido al estudio de cada uno de los artículos presentados en todos los congresos TAAE y de dicho análisis, se han incorporado una serie de códigos recogidos en la Ontología TAAE. Cada una de estas asignaciones se denominan “impactos ontológicos” y servirán para establecer el mapa de temáticas. Como se puede observar en los datos que se aportan en la figura 7 existe cierta divergencia respecto al análisis preliminar de la dedicación temática de las sesiones, ya que el número de impactos aplicados a cada ponencia es superior a dos, con el fin de precisar con mayor exactitud las temáticas múltiples que se abordan en los desarrollos que los autores presentan. De aquí la necesidad de aplicar múltiples impactos, dado el carácter transversal del contenido de los artículos en la mayoría de las

ocasiones. En total, los 1402 artículos de TAAE han recibido un total de 4246 impactos que se han distribuido de acuerdo con la ontología TAAE, según los datos indicados en la figura 7, entre los que destacan una mayor dedicación a las áreas de Docencia, Software Educativo y Sistemas.

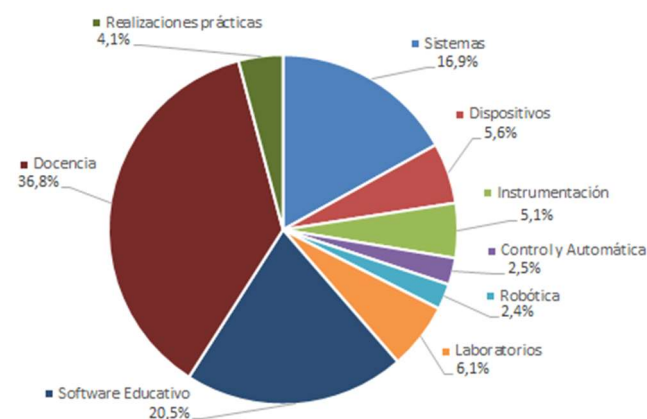


Fig. 7. Distribución histórica de impactos ontológicos en las temáticas TAAE.

Como creemos que TAAE es un fiel reflejo de cómo evoluciona la enseñanza de la Tecnología y la Electrónica, y se puede decir que, en casi treinta años, y precisamente estos pasados treinta años, la tecnología ha cambiado vertiginosamente, lo que ha hecho que los profesionales de la Docencia y la Técnica hayan tenido que adaptarse a temáticas emergentes. Esto se puede observar en la figura 8, en la que se muestra el reparto de áreas de forma comparativa entre sí.

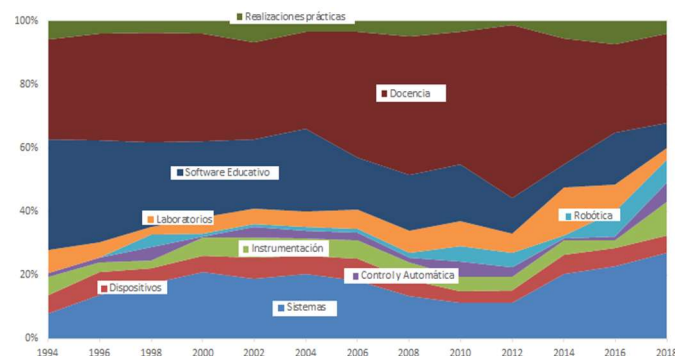


Fig. 8. Evolución de las diferentes temáticas por congreso.

Es interesante observar cómo durante las primeras ediciones de TAAE, apenas hay impactos sobre la temática de la Robótica o de la Automática, dedicándose la práctica totalidad de los artículos a las experiencias didácticas, las metodologías de enseñanza y a los desarrollos de software educativo, que resultaba un área emergente en la década de los 1990. A partir de la declaración de la gratuidad de la Web en 1993, se empezaron a ver un aumento en los artículos que tenían relación con esta temática emergente, pero con el paso del tiempo, la Web ha dejado de ser objeto de publicación por su normalización en el ámbito docente. En cambio, se observa un constante empleo a lo largo del tiempo de temáticas relacionadas con la instrumentación y medida y con el área de los Laboratorios. Son, precisamente, estas dos áreas, las que se han mantenido constantes a lo largo del tiempo por el número de artículos dedicados al desarrollo de metodologías de aprendizaje basadas en tareas, en proyectos y en prácticas. Se observa, además, un auge en el periodo 2008-2016 en el área de laboratorios, por la tendencia emergente de los

laboratorios remotos. Para finalizar con este estudio, se ha realizado una agrupación de temáticas en tres grandes bloques: el bloque de la docencia, el bloque de las temáticas relacionadas con el software en todos sus ámbitos y el bloque de los sistemas tecnológicos que incluyen los contenidos que apuntan al estudio y realización de dispositivos, sistemas y otros recursos físicos relacionados con la electrónica.

En la figura 9 se puede observar que, en el primer congreso de 1994, la dedicación a estos tres bloques fue prácticamente equitativo, publicándose un tercio de los artículos del congreso a cada uno de estos bloques. Esto es un buen punto de partida para observar cómo han evolucionado a lo largo del tiempo. A lo largo de estos años se observa que la docencia se ha mantenido en cifras similares a los inicios de TAAE con cierta oscilación en las ediciones de la segunda mitad histórica. Por otro lado, el bloque dedicado al Software ha ido decayendo a lo largo de los congresos TAAE, siguiendo la evolución contraria a la tendencia alcista del bloque de sistemas tecnológicos. Esto quizá pueda dar una idea de la preferencia de los autores por las áreas de conocimiento.

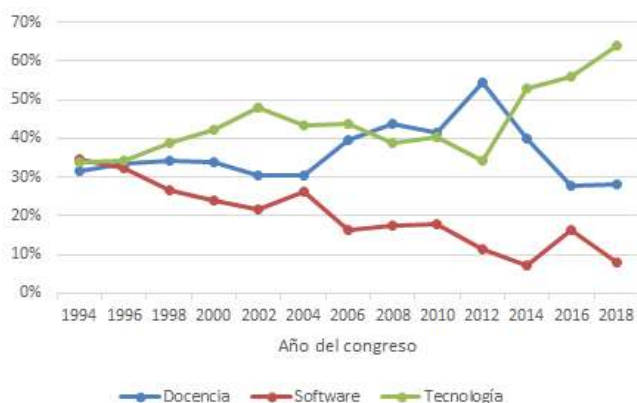


Fig. 9. Evolución porcentual de los bloques temáticos cada congreso.

VI. ANÁLISIS DE OBJETOS DE APRENDIZAJE (HIJOS)

En el tratamiento de cada artículo (padre), se han extraído 8.211 objetos de aprendizaje (hijos) de éstos, cuya distribución se indica en el siguiente gráfico de la figura 10:

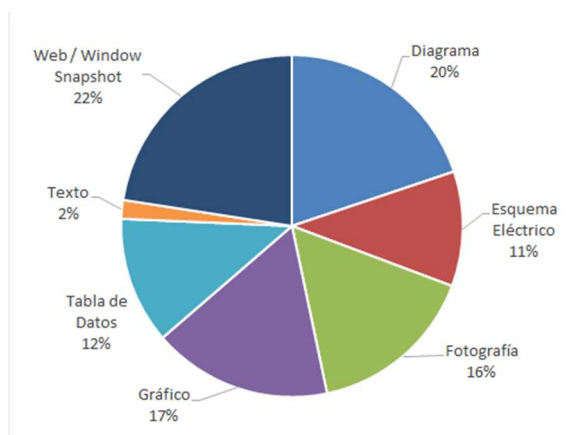


Fig. 10. Distribución de los objetos de aprendizaje (hijos)

La incorporación de elementos visuales y gráficos en los artículos permite un mayor entendimiento sobre las cuestiones tratadas en los artículos, ilustrando y mejorando en la mayoría de las ocasiones la información provista. No obstante, aparte

de esta característica interna de los propios artículos de TAAE, se ha generado un fondo con dichos objetos extraídos, que bien pueden ser empleados como objetos reutilizables de aprendizaje por otros autores, fundamentalmente enfocado al ámbito docente. El número de objetos incluidos en los artículos es variable, pero se observa preferencia por alojar entre 2 y 7 objetos, según se observa en la tabla VII, en la que se ha listado la cantidad de artículos que alojan un número determinado de objetos (hijos).

TABLA VII. PUBLICACIONES TAAE SEGÚN EL NÚMERO DE OBJETOS QUE INCORPORAN

Objetos	Artículos
1	91
2	136
3	138
4	167
5	130
6	102
7	97
8	74
9	79
10	47
11	43
12	35
13	31
14	30
15	19
16	12
17 ó mas	41

VII. ESTUDIO DE LAS PALABRAS CLAVE

Del estudio y análisis de las palabras clave, se ha hecho un primer estudio general de las palabras en las que se han contabilizado todos los términos empleados. En total, los autores de TAAE han empleado 7326 términos o palabras clave, de las que 2409 son diferentes. Esto supone que en los 1402 artículos procesados en TAAE, la media de palabras clave empleadas es de 5,22 por artículo, siendo una buena cifra para indicar la temática específica de cada artículo. Se ha de recordar que el empleo de palabras clave es una herramienta muy útil para la búsqueda documental. Las palabras o términos más utilizados en el histórico de TAAE se refleja en la siguiente tabla VIII.

TABLA VIII. RANKING HISTÓRICO DE PALABRAS CLAVE EN TAAE

Palabra clave	Apariciones
práctica	182
metodología	151
simulación	151
análisis	133
diseño	123
docencia	111
laboratorio	105
FPGA	75
multimedia	70
EEES	70
instrumentación	68
pcb	67
aprendizaje	66
microcontrolador	62
software	60
control	55
VHDL	55

No obstante, en este listado se puede perder información, ya que se observa un cambio de tendencia en los temas específicos antes de 2008 (Primera Era) [y después de 2008 (Segunda Era con dicho año incluido). Tras analizar los datos,

se observa que los términos más utilizados, en la primera era y que no aparecen nombrados en la segunda son:

Programable - interfaz gráfica - lenguaje - algoritmo - lógica - formación - proceso - VLSI - computador - osciloscopio - test - 68000 - analógico - applet - EWB - servidor - 8051 - estructura - full-custom - secuencial - transductor - caché - CD-ROM

Por otro lado, existen términos que han sido utilizados en multitud de artículos de la segunda era, pero que no se aplicaron en la primera:

aprendizaje basado en proyectos - instrumentación electrónica - laboratorio remoto - electrónica digital - metodología docente - Arduino - electrónica analógica - electrónica de potencia - grado - máster - Internet of Things - microcontroladores - sistemas empotrados

VIII. CONCLUSIONES

A lo largo de estas casi tres décadas, TAAE sigue cruzando fronteras y uniendo puentes entre colegas de profesión e investigadores, estableciendo su primer congreso fuera de España con la edición de Oporto en 2020. En cierto modo, esta es una consecuencia evolutiva natural, ya que los organismos y entidades participantes en los congresos TAAE, hasta la edición de 2018, han procedido de 28 países de Europa, Asia, América del Norte y América del Sur y Central. Quizá entre los muchos esfuerzos que convendría realizar, sería muy positivo para la comunidad TAAE, la participación a corto plazo de entidades, organismos y universidades del continente africano.

Algunas de las cifras que se han manejado en esta comunicación, a partir de la revisión y estudio del tipo de relaciones entre organizaciones, muestran la participación de 2.623 autores procedentes de 238 organismos. En las 13 ediciones de los congresos TAAE, las comunicaciones se han organizado a lo largo de 233 sesiones distribuidas en 37 áreas temáticas. Entre las áreas más tratadas, destacan las sesiones dedicadas a la metodología docente y educación (23 sesiones), la electrónica y diseño digital (22 sesiones), la instrumentación electrónica (17 sesiones), el ámbito de los laboratorios (14 sesiones), los materiales y recursos educativos (13 sesiones) y el software (12 sesiones). Del análisis de las palabras clave elegidas por los autores en sus comunicaciones, se observa que “práctica”, “simulación”, “metodología”, “análisis”, “docencia” y “laboratorio” han sido las palabras clave elegidas en los artículos en más de un centenar de ocasiones.

Se ha podido constatar que, del estudio de los artículos presentados por los autores, el área de la Docencia, que incluye metodologías de aprendizaje, experiencias didácticas y creación de recursos educativos, se mantiene en el tiempo de forma prácticamente constante de forma porcentual a lo largo de los congresos TAAE. No obstante, se ha detectado una bajada progresiva en el porcentaje de artículos que se dedican al ámbito del software, que contrasta con la mayor dedicación de autores al desarrollo de sistemas, estudio de dispositivos y otras cuestiones relacionadas con la electrónica, la robótica y la automática.

A pesar del gran trabajo realizado por los diferentes comités a lo largo de estos años, tras el análisis de los datos

históricos de TAAE, se habría que abordar algunas cuestiones pendientes, como son la expansión de TAAE a otros países, a partir de la colaboración entre organismos participantes, un aumento en la participación de investigadoras y mujeres docentes, directamente relacionada con la promoción de la profesión en el ámbito de la Ingeniería y de la Tecnología, y acciones para dar a conocer la asociación al ámbito de la Educación Secundaria y la Formación Profesional.

REFERENCIAS

- [1] Libros de actas de Congresos TAAE (diversas publicaciones 1994-2018)
- [2] Arriaga, J.; Carpeño, A.; Gordillo, T. “Del objeto de aprendizaje a la implementación de una asignatura. Un caso práctico”. Universidad Politécnica de Madrid. Congreso TAAE 2006.
- [3] Arriaga, J., Blázquez-Merino, M., Castro-Gil, M. A., Pescador, F. y Tovar, E. “Technical Congress Proceedings as a Reusable Digital Objects Educational Source.” IEEE EDUCON 2010 IEEE Engineering Education 2010 – The Future of Global Learning in Engineering Education, (Anual), pág. 144.
- [4] Gonzalo Tomey, M^a D.; Sarasa, A.; Álvarez Lacambra, A. (2008) “Elaboración de objetos digitales educativos atendiendo a normas”. SPDECE2008. Salamanca. Red.es, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- [5] Ayllón Bonet, Julio Cesar. (2009) “Metadatos y documentos XML/RDF para recuperación”. Universidad Carlos III. Madrid.
- [6] Learning Technology Standards Committee of the IEEE. “Draft Standard for Learning Object Metadata” IEEE 1484.12.1-2002. 15 July 2002.
- [7] Côté, M.C. (TBS), Hope, Cpt. P. (DND). “Presentation to the GOL Metadata Working Group”. Government of Canada, E-learning Metadata Application Profiles. January 20, 2004.
- [8] Landaluze, A.; Casquero, O.; Portillo, J.; Romo, J.; Benito, M.. (2008) “Meta-análisis de los artículos publicados en el SPDECE”. Universidad del País Vasco EHU. SPDECE 2008.
- [9] Blázquez-Merino, M.; Castro, M.; Arriaga, J.; Pescador, F.; Aguilar Peña, J.D.; Quintáns Graña, C.; Morales, M^a A. (2016) “TAAE 1994-2014: La enseñanza de la electrónica en 21 años” Libro de actas TAAE 2016.
- [10] Blázquez-Merino, M.; Castro, M.; Tovar, E. “Educación para el futuro de la Ingeniería”. Congresos EDUCON 2010 y TAAE 2010. Cátedra Telefónica de la UNED. Responsabilidad Corporativa y Sostenibilidad. Cuaderno Red de Cátedras Telefónica. Septiembre de 2010.
- [11] Blázquez-Merino, M., Latorre, M., Díaz, G., Castro, M., Arriaga, J., Pescador, F., Sanz, C., Tovar, E. (2009) “A process of creating learning objects from a congress platform”. TELFOR 2009. 17th Telecommunications Forum (Anual), IEEE. TELECOMMUNICATIONS SOCIETY - Belgrade, “TELEKOM SRBIJA” a.d., PTT Communications “SRBIJA”, ETF School of EE, University in Belgrade, IEEE Serbia&Montenegro Com Chapter and Section. 24 al 26 de Noviembre de 2009, Belgrado (Serbia & Montenegro).
- [12] Blázquez-Merino, M.; Latorre, M.; Díaz, G.; Martín, S.; Castro, M.; Arriaga, J.; Pescador, F.; Sanz, C.; Pollán, T.; Plaza, I.; Llamas, M.; Tovar, E.; López, J. A.; Romo, J.; Casquero, O.; Benito, M.; Landaluze, A.. (2009) “Análisis Estadístico de la documentación generada en los Congresos TAAE (Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica 1994-2008 en el seno del proyecto Creación semiautomática de objetos educativos y metanálisis de TAAE” Proyecto Red Ober - Objetos Educativos Reutilizables.
- [13] Blázquez-Merino, M.; Arriaga, J.; Castro-Gil, M.A.; Díaz-Orueta, G.; Latorre-García, M.; Pescador, F.; Sanz, C.; Tovar, E. (2010) “Congresos TAAE: del proyector de transparencias a los objetos educativos y los metadatos”. Libro de actas TAAE 2010
- [14] Blázquez-Merino, M.; Castro-Gil, M.; Latorre-García, M.; López-Medina, A.; Zorita, L. (2010) “Adaptación y difusión de contenidos digitales de simulación mediante recursos educativos abiertos” Libro de Actas TAAE 2010

Experiencias docentes. Trabajar en el aula la competencia transversal del emprendimiento.

Catalina Rus-Casas
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Automática
Escuela Politécnica Superior de la
Universidad de Jaén
Jaén, España
crus@ujaen.es

Leocadio Hontoria
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Automática
Escuela Politécnica Superior de la
Universidad de Jaén
Jaén, España
hontoria@ujaen.es

Gabino Jiménez-Castillo
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Politécnica Superior de la
Universidad de Jaén
Jaén, España
gjimenez@ujaen.es

Francisco José Muñoz-Rodríguez
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Automática
Escuela Politécnica Superior de la
Universidad de Jaén
Jaén, España
fjmunoz@ujaen.es

Juan Domingo Aguilar-Peña
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Automática
Escuela Politécnica Superior de la
Universidad de Jaén
Jaén, España
jaguilar@ujaen.es

Abstract—. Las competencias transversales que aparecen en las memorias de Grado presentan una importancia indiscutible en la formación de los graduados. Sin embargo, las asignaturas de Grado contienen gran cantidad de conceptos, tanto teóricos como prácticos que también deben cubrirse, y que hacen difícil la labor docente sobre las competencias transversales. En esta comunicación se presenta la experiencia docente llevada a cabo en asignaturas del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial para trabajar en el aula la competencia trasversal del emprendimiento. Los estudiantes reciben una formación complementaria que les ha permitido abordar parte de los problemas planteados en la asignatura como una idea de negocio. Se ha conseguido captar la atención del alumnado de forma que han mostrado una actitud proactiva sobre la asignatura en la que se ha realizado la experiencia docente. **Keywords**— Competencias transversales, proyectos de emprendimiento, métodos docentes.

I. INTRODUCCION

La situación de la economía mundial conduce a que los titulados en grado de nuestras universidades demuestren una gran capacidad de adaptación a cambios muy diversos y la habilidad de enfrentarse a situaciones complejas para las que deben innovar y emprender.

Son muy amplios los programas tanto a nivel nacional, autonómico y local dentro de la Universidad que apoyan y desarrollan iniciativas conducentes a la innovación, creación de autoempleo y emprendimiento, para preparar a los graduados que se incorporarán en un mercado laboral marcado por una competitividad y complejidad cada vez mayor.

La actividad emprendedora se puede entender como uno de los motores de transformación territorial. Las nuevas empresas diseñadas por emprendedores serán innovadoras, generan autoempleo y en definitiva supondrán un incremento de la productividad y una contribución a la riqueza de la región en la que se crean. En este sentido es necesario un marco institucional que facilite y promueva la cultura emprendedora. También es necesaria la interrelación entre las personas emprendedoras, las organizaciones y los diversos agentes del entorno todo esto permite que se fomente y se enriquezca la actividad emprendedora. Este hecho ha despertado el interés académico de las universidades que tratan de incluir en la formación aspectos que ayuden a los titulados a transitar hacia una sociedad más innovadora, emprendedora y sostenible.

Existen experiencias en las que se crean observatorios, a través de los cuales se plantean metodologías que facilitan el análisis del concepto de emprendimiento. Un ejemplo es el proyecto Global Entrepreneurship Monitor (GEM), formado por 19 equipos de investigadores del entorno académico y empresarial de toda España. En este contexto se analiza y estudia el comportamiento emprendedor a través de múltiples variables y se generan datos que publican en informes anuales [1]. Otra experiencia también a destacar es la RedEmprendia, red de Universidades de España, Portugal y Latinoamérica, que promueven la innovación y el emprendimiento responsables. Esta iniciativa apuesta por crecimiento económico, el respeto al medioambiente y la mejora de la calidad de vida. Estos aspectos se desean potenciar y trabajar entre las universidades iberoamericanas incluidas en la Red [2].

Estas experiencias junto con el análisis que se hace del emprendimiento mediante los informes del Observatorio de Emprendimiento Universitario, conducen a una mejor comprensión de la aportación de las universidades al fomento del emprendimiento como competencia en la sociedad actual.

Uno de los aspectos que se analizan en el mencionado Observatorio es la percepción de los estudiantes respecto al entorno universitario que favorece el fomento de la actividad emprendedora en la comunidad universitaria (estudiantes, profesores, investigadores, incluso egresados). Así se muestra como en torno a un 70,3% de los estudiantes entrevistados para el informe tienen claro que en su universidad se promueven diversos programas para fomentar el emprendimiento. Además, el 61,8% de los estudiantes afirman que en sus universidades hay asignaturas orientadas a la formación en emprendimiento. Por otro lado, el 62,0% de los entrevistados conocen que la universidad posee incentivos al emprendimiento a través de premios o reconocimientos. Asimismo, el 59,0% han manifestado que reciben por distintos canales la difusión de dichos programas y al menos el 50,0% es capaz de identificar las infraestructuras de apoyo en la propia universidad. También resulta de interés que el 21,7% de los entrevistados han estado en contacto en alguna ocasión con algún programa/centro de apoyo a emprendedores en su universidad.

Los estudiantes que han participado en este estudio se han clasificado por área de conocimiento, donde el 37% de los

universitarios son de Ciencias Sociales, el 24% estudiantes de Ingenierías, el 21% de Humanidades, el 12% de Ciencias de la Salud, y el 7% en Ciencias Experimentales. Todos estos datos muestran que el estudiante universitario tiene a su alcance, independientemente de la titulación, en la Universidad en la que realiza su título de grado una formación en emprendimiento. En este trabajo, se mostrará la visión de los estudiantes de grado en Ingeniería Electrónica Industrial en algunos de los temas que recoge el observatorio y en otros que intenta fomentar la propia universidad en la que se realiza el estudio [3].

En la Universidad de Jaén el fomento del emprendimiento se realiza a través de diferentes iniciativas incluidas en el Plan de Formación Práctica para la Empleabilidad. Una de ellas es la puesta en marcha por el Vicerrectorado de Relaciones con la Sociedad e Inserción Laboral. Desde el curso 2013/2014 este Vicerrectorado tiene como objetivo fomentar la cultura emprendedora entre el alumnado universitario para favorecer la creación de empresas y el autoempleo. Esta iniciativa concede, mediante una convocatoria anual, unas ayudas económicas destinadas a los proyectos docentes evaluados positivamente por una comisión especializada en emprendimiento. Esta comisión puntúa las propuestas valorando los siguientes criterios:

- Que la propuesta sea concreta, clara, coherente, y viable en relación a los objetivos que se planteen en la convocatoria.
- La integración de distintas áreas docentes en el proyecto y la cooperación entre las mismas.
- Variedad en la propuesta de actividades.
- Que presente una metodología adecuada a los objetivos planteados.
- Originalidad, novedad e innovación propuesta.
- Que involucre a empresas y entidades externas.
- Grado de conocimiento que el proyecto aporta al alumnado sobre los recursos, herramientas y entidades con competencias en materia de emprendimiento.

En concordancia con este planteamiento, y considerando que el profesorado juega un papel clave en el desarrollo de esta actividad; en este trabajo, se desea comprobar, dentro de la Universidad de Jaén, cómo llega al alumnado del grado en Ingeniería Electrónica Industrial, las experiencias y acciones relacionadas con el fomento y la motivación hacia la generación de cultura emprendedora que se desarrollan en la Universidad.

Los profesores involucrados cuentan con experiencia en esta iniciativa ya que, en varias convocatorias de estos proyectos de fomento de la cultura emprendedora, los profesores han elaborado distintas propuestas para llevar al aula la formación en emprendimiento, en la mayoría de los casos utilizando las redes sociales como vehículo para dinamizar las actividades realizadas [4-6].

El trabajo que aquí se presenta se enmarca en un proyecto de fomento de la cultura emprendedora en el curso 2019-2020, dentro de asignaturas del grado en Ingeniería Electrónica Industrial, en las que además de los contenidos propios de la misma se trabaja la competencia transversal del emprendimiento [7, 8]. El objetivo de este trabajo es mostrar a los alumnos las diferentes herramientas para llevar a cabo

una iniciativa empresarial e iniciarlos en el emprendimiento como una posible salida profesional.

El trabajo, se ha estructurado de la siguiente forma: en primer lugar en la introducción se pone de manifiesto la importancia del emprendimiento a nivel de formación en la universidad; a continuación se plantea el marco de la experiencia docente, tanto a nivel de competencias como el entorno académico dentro de la titulación; posteriormente se expone el trabajo llevado a cabo y los resultados obtenidos en la experiencia docente, y por último se muestran las conclusiones obtenidas en la experiencia docente realizada.

II. LA EXPERIENCIA DOCENTE

Para poder llevar a cabo la experiencia docente se han tenido en cuenta las competencias que se trabajan, así como el marco académico de las asignaturas elegidas dentro del título de grado de Ingeniería Electrónica Industrial. A continuación, se explican cada uno de estos aspectos.

A. *Las competencias en el título de grado en Ingeniería Electrónica Industrial*

Actualmente, en la enseñanza universitaria europea se promueve que el alumnado tenga mayor implicación en su formación. La enseñanza universitaria pretende enseñar a aprender, y hacer que el alumno sea capaz de gestionar sus estudios con mayor autonomía e implicación.

El objetivo principal de las titulaciones universitarias es dar respuesta a las capacidades profesionales que demandan las empresas y la sociedad a través de la formación que se adquiere en el aula [9].

Existen diferentes estudios que plantean la equivalencia entre las titulaciones oficiales universitarias para que éstos sean comparables, por ejemplo adoptándose el sistema de créditos. Uno de los más reconocidos es el proyecto Tuning, proyecto en el que se involucran 101 universidades. En este proyecto se proponen referencias para cada disciplina en el caso de las competencias genéricas y específicas [10]. Las competencias describen los resultados del aprendizaje que el estudiante tendrá cuando completa su proceso de aprendizaje. Las competencias serán por tanto las referencias a tener en cuenta cuando se elaboran y evalúan los planes de estudio en cada universidad. Esto se aplica tanto en el caso de las competencias específicas como de las genéricas de la titulación, como pueden ser por ejemplo en el ámbito que nos ocupa las capacidades de comunicación y de liderazgo que adquieren los estudiantes.

En este sentido, las universidades que forman los profesionales que son y serán parte de las empresas actuales no deben permanecer ajenas a lo que la empresa demanda. Si se piensa ahora esta problemática desde el contexto actual de las ingenierías, surge entonces el ineludible compromiso de formar ingenieros con competencias que estén de acuerdo con la demanda futura, donde las habilidades emprendedoras del estudiante serán protagonistas. Este hecho, exige una planificación de los contenidos de las asignaturas y tener en cuenta la formación por competencias.

La evaluación de las competencias permite determinar si un estudiante ha logrado los objetivos que se persiguen con las formaciones en una o varias materias. Así, conseguir los objetivos generales de una titulación se puede desglosar en la memoria de grado en términos de competencias. En el caso del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial, acreditado por

la ANECA el 29 de Julio de 2010 y renovada su acreditación el 19 de mayo de 2017 [11-13], las competencias que los estudiantes han de adquirir para la obtención de la titulación son las siguientes:

- *Básicas*, son comunes para la mayoría de las titulaciones, pero no están adaptadas al contexto de ellos de forma específica. Estas competencias son comunes a todos los títulos de nivel MECES 2 (Grado) de la Universidad de Jaén, aunque presentan una adaptación al contexto específico de cada título.
- *Generales*, las asociadas a la rama industrial.
- *Específicas*, que son aquellas relacionadas con la titulación, y están orientadas al perfil específico de la misma.
- *Transversales*, aquellas unidas a habilidades relacionadas con el desarrollo personal, que no dependen de un ámbito temático o disciplinario específico, sino que aparecen en todos los dominios de la actuación profesional y académica. Estas competencias son comunes a todos los títulos de la Universidad de Jaén y serán una característica de todos los egresados (ver Tabla I).

TABLA I. COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Competencias Transversales o Genéricas del Grado	
Competencia	Descripción
CT1	Capacidad para trabajar, dirigir y gestionar conflictos en un grupo multidisciplinar y/o un entorno multilingüe.
CT2	Capacidad para la gestión de la información, manejo y aplicación de las especificaciones técnica y la legislación necesaria para la práctica de la ingeniería.
CT3	Capacidad de emprendimiento y cultura emprendedora.
CT4	Capacidad para aplicar nuevas tecnologías incluidas las tecnologías de la información y la comunicación.
CT5	Respeto a los derechos humanos y de los que sufren alguna discapacidad y voluntad para eliminar factores discriminatorios con género, origen, etc.
CT6	Capacidad para la transmisión oral y escrita de información adaptada a la audiencia.

Las competencias básicas, generales y específicas están reflejadas en la mayoría de las guías docentes del título de grado ya que se deben hacer explícitas a los resultados de aprendizaje de las distintas asignaturas que componen el

grado. En cambio, las transversales, como muestra la tabla I son de carácter general y será más complicado trabajarlas en el día a día de clase.

La experiencia docente que aquí se presenta incorpora dentro de la asignatura actividades formativas del ámbito del emprendimiento que serán planteados por el docente como una oportunidad de incorporar lo aprendido sobre emprendimiento en algunos contenidos de la asignatura.

B. El marco académico. Estructura del título de grado en Ingeniería Electrónica Industrial

La universidad de Jaén, propone el título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial con 240 créditos estructurados, en cuatro cursos de 60 créditos cada uno. Cada curso tiene una carga lectiva de 30 créditos cuatrimestrales. En la figura 1, se recoge de manera esquemática la estructura por curso de la naturaleza de los créditos asociados a cada curso.

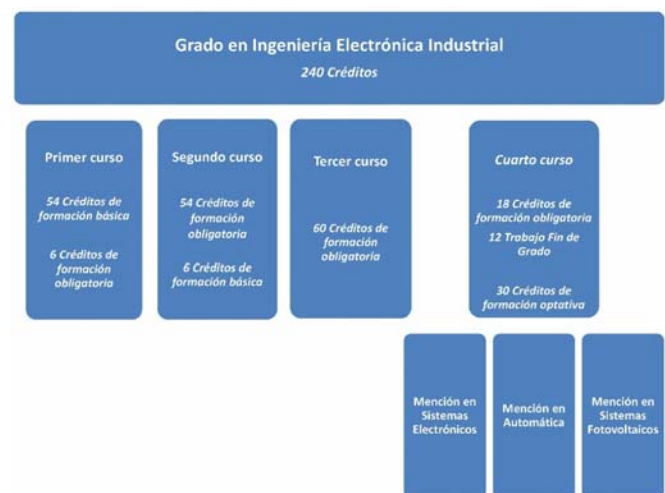


Fig. 1. Estructura que la Universidad de Jaén propone para el título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

Como muestra la figura 1 en el cuarto curso el estudiante completa su formación con la elección de 30 créditos de optatividad, Tabla II. El estudiante puede escoger las 5 asignaturas que desee realizar de entre las optativas ofertadas en el Grado. Todas las asignaturas ofertadas son de 6 créditos ECTS. La Tabla II también muestra organizadas las asignaturas por materias, de forma que eligiendo materias afines el estudiante podrá obtener en su título de grado una de las menciones que se ofrecen: en Sistemas Electrónicos, en Sistemas Fotovoltaicos y en Automática.

En esta estructura de créditos, cuando el docente realiza el diseño de las guías docentes de cada una de las asignaturas se trabajan las competencias que la integran. Los docentes incorporan de manera natural el trabajo en el aula que se realizará para alcanzar las competencias básicas, generales y específicas. En cambio, como se ha comentado, suele resultar más complicado incorporar trabajos asociados a adquirir las competencias transversales. El principal motivo es la cantidad, novedad y dificultad de los contenidos en la mayoría de los casos de las asignaturas que forman el título de grado en Ingeniería Electrónica Industrial.

En este caso, la experiencia docente se lleva a cabo en asignaturas optativas, ya que son asignaturas en las que el grupo de estudiantes que se matriculan en ellas cuentan con conocimientos de base en las mismas y además los alumnos suelen estar especialmente motivados ya que las eligen para profundizar en los conocimientos de una determinada área, intensificación o mención. Las asignaturas elegidas son: Sistemas de Adquisición de Datos, Instalaciones Fotovoltaicas y Electrónica Aplicada a los Sistemas Fotovoltaicos. La primera de ellas es una asignatura transversal y el estudiante la puede utilizar para adquirir cualquiera de las menciones que se ofrecen y las otras dos están asociadas a la mención en sistemas fotovoltaicos.

TABLA II. MATERIAS Y ASIGNATURAS DEL MÓDULO DE OPTATIVIDAD EN EL GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

Denominación de la materia	Modulo de optatividad (30 créditos, 5 asignaturas de 6 créditos cada una		
	Asignaturas	ECTS	Carácter
Electrónica Avanzada	Sistemas Digitales	6	Optativa
	Sistemas Electrónicos de Alimentación y Potencia		
	Tecnología Electrónica y Desarrollo de prototipos		
	Microelectrónica		
Automática Avanzada	Sistemas de Percepción Industrial	6	
	Robótica Industrial		
	Control y Regulación de Máquinas Eléctricas		
Automática Aplicada	Aplicación de la Automatización en Edificios	6	
Instalaciones de energía solar fotovoltaica	Instalaciones Fotovoltaicas	6	
	Electrónica aplicada a los Sistemas Fotovoltaicos		
	Gestión y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos		
	Tecnología Eléctrica en Sistemas Fotovoltaicos		
Programación	Programación	6	
Sistemas de adquisición de datos	Sistemas de Adquisición de Datos	6	
Prácticas Externas	Prácticas Externas	6	

En estas asignaturas, trabajar las competencias transversales será más sencillo puesto que además de encontrar estudiantes que tienen una madurez científica, por ser alumnos de último curso, son alumnos motivados en los contenidos y con conocimientos previos en la materia. Así mismo, otra ventaja con la que los docentes se encuentran es que se trata de asignaturas con un número de alumnos matriculados pequeño, 15 estudiantes en el caso de la asignatura Sistemas de Adquisición de Datos.

Este ha sido uno de los motivos, por los que los profesores seleccionan estas asignaturas para trabajar la capacidad de emprendimiento. Las actividades que se proponen para obtener esta capacidad transversal tratarán de desarrollar habilidades en los estudiantes para fomentar un aprendizaje

activo diseñando una manera de aprender diferente, en la cual los estudiantes conecten el día a día de clase con la posibilidad de llevar a cabo una iniciativa empresarial e iniciarlos en el emprendimiento como una posible salida profesional.

III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

La experiencia docente, como se ha comentado previamente, se concreta en el aula para los alumnos que cursan tres de las asignaturas optativas de 4º curso del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial. Al ser asignaturas de último curso los estudiantes están muy sensibilizados y preocupados por sus salidas laborales, con lo que a priori se puede pensar también que los estudiantes se interesarán en conocer la forma de emprender ellos mismos, innovar y buscar su propio empleo.

La experiencia trabajó las competencias de innovación e instrumentales muy ligadas al fomento de las habilidades profesionales y por tanto que facilitarán el desarrollo de aprender a emprender en el aula.

El trabajo consistió en formar en la competencia transversal del emprendimiento para que el estudiante lo contemple dentro de la posibilidad de acceso al mundo laboral. Para ello se han trabajado aspectos como:

- Crear su propio empleo, el trabajo en equipo, la resolución de problemas incorporando innovación y la capacidad de organización y planificación.
- La organización de visitas a viveros de empresas y parques tecnológicos (experiencia ilustrada en la figura 2, a y c).
- El intercambio de experiencias con emprendedores y empresarios (experiencia ilustrada en la figura 2, b).
- Preparar uno de los trabajos de las asignaturas implicadas como un proyecto en el que se ponga en práctica una idea de negocio.

La actividad se ha planificado a lo largo del cuatrimestre organizando aproximadamente una actividad cada mes. Con esto también se ha conseguido que sea una actividad fácil de integrar en las asignaturas implicadas.

Con las visitas tanto al Parque Tecnológico como al Vivero de Empresas se intenta que los estudiantes tengan encuentros con entidades y servicios que muestren su experiencia y posibles apoyos que puedan recibir en materia de emprendimiento por si deciden poner en marcha una idea de negocio. Por ejemplo, en la figura 2, c se muestra una persona de SECOT (Seniors Españoles para la Cooperación Técnica).

El SECOT es una asociación sin ánimo de lucro que reúne a empresarios que han finalizado su actividad laboral o que encontrándose en activo deseen, con espíritu altruista, ofrecer su experiencia y conocimientos en gestión empresarial o académica a quienes lo necesitan. Estos Seniors, realizan un asesoramiento realizando un análisis de la propuesta de forma confidencial y ofrecen un diagnóstico y proponen acciones para el desarrollo empresarial de las propuestas que les son consultadas.

Finalmente, para evaluar el impacto en los estudiantes de la experiencia docente llevada a cabo, se ha realizado una encuesta a los estudiantes que han participado en la actividad.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Imágenes fuera del aula de las distintas actividades organizadas en el marco del proyecto de fomento de la cultura emprendedora. La imagen (a) corresponde con la visita al Parque Tecnológico Geolit, situado en Mengibar, Jaén. La imagen (b) corresponde a un encuentro organizado con emprendedores que se han formado en la universidad de Jaén. La imagen (c) corresponde a una visita al vivero de empresas que existe en la universidad, momento de la orientación recibida por un miembro de SECOT.

Las preguntas que integran la encuesta han sido facilitadas por el Vicerrectorado que organiza la actividad y son las siguientes:

- Motivos por los que has participado en la actividad:
 - Tengo intención de emprender.

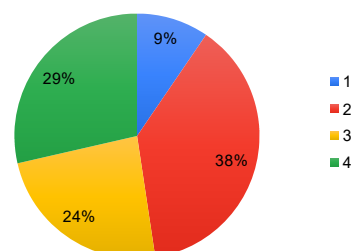
- Adquirir nuevos conocimientos.
- Incrementar mi currículum.
- Considero que el emprendimiento es una buena salida laboral en mi titulación.
- Te ha sido útil la actividad para conocer recursos, herramientas y entidades de emprendimiento.

Los estudiantes respondieron mediante una puntuación que, siguiendo la escala de Likert, de 1 a 4, permite conocer el grado de conformidad del encuestado y medir las aptitudes emprendedoras trabajadas en la experiencia docente.

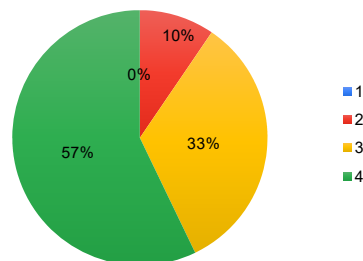
IV. RESULTADOS

Seguidamente, se muestran los resultados de la experiencia docente desde dos puntos de vista. En primer lugar, se muestran en las figuras 3 y 4 los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes cuando la actividad ha finalizado.

Tengo intención de emprender



Adquirir nuevos conocimientos



Incrementar mi currículum

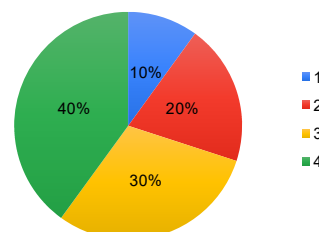


Fig. 3. Resultados de la pregunta relacionada con la motivación del alumnado en participar en la actividad.

En la figura 3 se muestra como un 29% de los estudiantes que participan han pensado en emprender. En cuanto a la actitud de los estudiantes, como ya se ha comentado en el presente trabajo, un 90% de los estudiantes están muy a favor de actividades que les complementen su formación, motivo

por el cual otorgan una valoración por encima de la media a la pregunta de si participan en la actividad por adquirir nuevos conocimientos. También hay que destacar como un 70% de los estudiantes, por tratarse de una experiencia realizada en cuarto curso, también valora por encima de la media la oportunidad que ofrece la actividad de aumentar o completar su currículum.

De otro lado en la figura 4 se puede apreciar como otorgan un 4 (están totalmente de acuerdo) un 72% de los estudiantes que participan consideran que el emprendimiento es una salida profesional ligada a la titulación de ingeniería.



Fig. 4. Resultados de las preguntas: Considero que el emprendimiento es una buena salida laboral en mi titulación y de la pregunta: Te ha sido útil la actividad para conocer recursos, herramientas y entidades de emprendimiento.

De esta forma, los alumnos ponen de manifiesto que, aunque no tengan intención clara de emprender, como indicaba la respuesta a la primera pregunta del cuestionario, sí que piensan que un graduado en ingeniería tiene en el emprendimiento una salida profesional. Finalmente, en la última pregunta se muestra como un 70% están de acuerdo o en total acuerdo a la pregunta de que la actividad les ha ayudado a conocer servicios o recursos relacionados con el emprendimiento, que de otra forma no hubiesen tenido la oportunidad de hacerlo.

En cuanto al punto de vista académico, hay que decir que la totalidad de los estudiantes matriculados en la asignatura, que habitualmente asisten a clase, han participado en esta actividad y que han recibido un 10% de la nota final en la evaluación de la asignatura, por realizar las actividades fuera del aula y completar la encuesta. Este tanto por ciento era sumado a la nota final siempre que los estudiantes hubieran alcanzado el aprobado.

Además, con lo que han aprendido en las actividades propuestas en la experiencia docente, uno de los trabajos realizados en las asignaturas por los estudiantes debía de incorporar una idea de negocio, poniendo de manifiesto aspectos como: descripción general de la idea de negocio, valor añadido que obtiene el cliente, servicios que ofrece la competencia, canales de distribución de su producto, descripción de las actividades de la empresa, productos o servicios que se suministrarán, entre otros matices para incorporar algunos de los matices trabajados en el proyecto de innovación docente.

V. CONCLUSIONES

La experiencia docente ha sido muy positiva ya que se ha conseguido captar la atención del alumnado sobre los contenidos de la asignatura de una manera diferente. Los alumnos han mostrado una actitud proactiva sobre la asignatura en la que se realiza la experiencia docente ya que parte de los contenidos los han diseñado como parte de uno de los servicios que proporcionarías a los futuros clientes de la idea de negocio desarrollada en el aula.

En una provincia poco industrializada, como es en la que se desarrolla la actividad, la experiencia puede ayudar a fortalecer su tejido productivo, incrementando el interés y la formación en la creación de empresas. Con la experiencia se muestra como un 29% de los estudiantes tienen intención emprendedora. Así mismo, este tipo de experiencias refuerzan a los alumnos en su formación que, además de ofrecerles una opción profesional, les proporciona una formación básica que les permita encarar un proceso de creación de empresas y les hace conocedores de los servicios que la universidad y otras administraciones ponen a su disposición para hacer realidad la creación de empresas. Una estrategia basada en el desarrollo de competencias garantizará que nuestros futuros egresados lo hagan con los conocimientos, habilidades y actitudes que los procesos de creación de empresas requieren. Esto implica un trabajo que no corresponde al esquema clásico las asignaturas sino a un refuerzo transversal en las distintas asignaturas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Jaén la financiación mediante el proyecto de fomento de la cultura emprendedora del curso 2019/20 "Fomento de la cultura emprendedora para alumnos del Grado de Ingeniería y Máster de Energías Renovables", que ha hecho posible la presentación de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] I. Peña, M. Guerrero, J.L. González-Pernía, Montero, et al. "Global Entrepreneurship Monitor". Informe GEM España. Santander: Ed. Universidad de Cantabria 2018.
- [2] RedEmprendia. Emprendimiento Universitario. <https://www.redemprendia.org/> [accedido el 03/02/2020]
- [3] M. Guerrero, D. Urbano, A. R. Ramos, J. Ruiz-Navarro, I. Neira y A. Fernández-Laviada. "Observatorio de Emprendimiento Universitario en España". Madrid: Crue Universidades Españolas-RedEmprendia-CISE. 2016.
- [4] M. D. Rubia-García, D. Eliche; C. Rus-Casas; J. D. Aguilar-Peña. "The social media networking tools for the promotion of the entrepreneurship" ISBN: 978-84-608-9298-4 pp. 497 - 502. Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), Sevilla, España 2016. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7528381>
- [5] M. D. Rubia-García; D. Eliche; C. Rus-Casas; J. D. Aguilar-Peña. "Assessing the impact of the activities of the promotion of the entrepreneurial culture programs on the entrepreneurial intentions of the engineering students" ISBN 978-84-617-8491-2 pp. 8896 - 8903.

- 06/03/2017. 11th annual International Technology, Education and Development Conference INTED2017 Valencia, Spain, 2017
- [6] M. D. Rubia-García; D. Eliche; C. Rus-Casas; J. D. Aguilar-Peña. "Facebook and engineering students: using this tool for the promotion of the entrepreneurial spirit". ISBN 978-84-617-8491-2 pp. 8904 - 8913. 11th annual International Technology, Education and Development Conference INTED2017Valencia, Spain,2017
 - [7] N.B. Braidot; R.A Cesar; J. Nicolini, V. González, "Una estrategia para el desarrollo de competencias emprendedoras en la formación de grado en carreras de ingeniería". VI CAEI 2008 www.caedi.org.ar/pcdi/PaginaTrabajosPorTitulo/4-581.PDF
 - [8] J. A. Marina, "La competencia de emprender". Revista de Educación, Vol. 351, pp. 4971. 2010.
 - [9] P. Silva, and L. Borges Gouveia, "A geração digital no novo mundo empresarial," (INTERTECH). Ilhéus, Brasil, pp. 263-267, 2010.
 - [10] University of Deusto and University of Groningen. Tuning educational structures in Europe II Universities' contribution to the Bologna Process. Edited by Julia González Robert Wagenaar, 2005.
 - [11] Grado en Ingeniería Electrónica Industrial, UJAEN. Online: http://eps.ujaen.es/giei/giei_presentacion.html. Último acceso: diciembre 2019.
 - [12] ANECA. Documentación y herramientas. 2015. Online: <http://www.aneca.es/Programas-de-evaluacion/Evaluacion-de-titulos/VERIFICA/Verificacion-de-Grado-y-Master/Documentacion-y-herramientas> . Último acceso: Marzo 2019.
 - [13] EPSJ: Programa AUDIT. Online: <http://eps.ujaen.es/audit/index.html> . Último acceso: Marzo 2019.

Experiencia en la adaptación de una asignatura de máster para su impartición completa a distancia

1st Julián Viejo-Cortés
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
julian@us.es

2nd Alejandro Carrasco-Muñoz
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
acarrasco@us.es

3rd Jorge Juan-Chico
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
jjchico@dte.us.es

4th Paulino Ruiz-de-Clavijo-Vázquez
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
pruiz@us.es

5th Germán Cano-Quiveu
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla
Sevilla, España
germancq@dte.us.es

Resumen—En la Sociedad de la Información actual, Internet está presente en la mayoría de las actividades cotidianas que realizan las personas. Este hecho ofrece a las Universidades nuevas posibilidades de acercar sus titulaciones a personas que difícilmente podrían cursarlas de forma presencial debido a no poder compatibilizar los horarios de dichas titulaciones con su vida laboral o personal. En esta comunicación se presenta la experiencia de adaptar una titulación de máster desde una modalidad presencial a otra totalmente a distancia. En concreto, se proporcionarán los resultados obtenidos tras impartir la asignatura “Gestión de Riesgos y Seguridad en Red” en el curso 2018-2019 siguiendo esta modalidad a distancia.

Index Terms—Docencia en máster, educación a distancia, seguridad en redes de computadores

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del Máster Universitario en Ingeniería Informática (MII) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática (ETSII) de la Universidad de Sevilla y pretende presentar la experiencia adquirida tras la adaptación de esta titulación a una modalidad de educación totalmente a distancia.

El Máster Universitario en Ingeniería Informática en su modalidad presencial comenzó a impartirse en el curso 2014-2015. Su carga lectiva era de 90 créditos impartidos durante dos cursos académicos (60 créditos en el primero y 30 en el segundo). Esta duración se debió a que este máster cumplía con la Resolución de 8 de junio de 2009 de la Secretaría General de Universidades capacitando para el ejercicio de la profesión de Ingeniero en Informática. En este sentido, en las asignaturas impartidas se abordaron multitud de contenidos basados en los últimos estándares y tecnologías cubriendo entre otras: *Cloud Computing*, Transformación Digital, Internet de las Cosas, Ciberseguridad, Inteligencia Artificial, *Deep Learning*, *eHealth*, *Big Data*, etc.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Industria y Competitividad del Gobierno de España a través del proyecto TIN2017-89951-P (BootTimeIoT) y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Una característica importante de este máster fue que las asignaturas se organizaron de forma que no se impartían todas simultáneamente sino que se fueron distribuyendo de dos en dos a lo largo de todo el curso. Tomando como referencia una asignatura con una carga lectiva de 7,2 créditos, esto implicó concentrar todas las clases presenciales de esas dos asignaturas en una franja de tiempo de seis semanas, resultando un total de 12 horas de clase a la semana por cada asignatura. Así, la primera asignatura impartía los lunes y los miércoles un total de 10 horas (una sesión de 5 horas cada día) y la segunda hacía lo mismo los martes y los jueves. El viernes cada asignatura impartía dos horas.

Esta forma de organizar las asignaturas estuvo motivada por el tipo de metodología docente que se pretendió impartir en este máster. En concreto, se utilizaron metodologías de Aprendizaje Cooperativo (AC) y Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) [1]. En este sentido, en las sesiones de 5 horas se planteaban diversos proyectos que los alumnos de forma cooperativa debían completar usando la técnica del puzle [1]. Finalmente, los viernes debían presentar los resultados de los diferentes proyectos, procediendo los profesores a su evaluación. Este planteamiento obligaba a los alumnos a asistir a todas las clases programadas para la correcta realización en grupo de las diferentes actividades colaborativas.

De acuerdo al Autoinforme Global de Acreditación de Títulos [2] realizado en el año 2017, los indicadores de rendimiento y éxito de este máster se situaban en el 92,94 % y 100 % respectivamente, pero sin embargo el número de estudiantes de nuevo ingreso y la demanda del título presentaba valores muy bajos (ver Tabla I). Como se observa en la Tabla I la tasa de matriculación se situó por debajo del 25 % en los dos primeros cursos. Si se tiene en cuenta que, de acuerdo al informe realizado en 2013 por la Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática (CODDII) [3], la empleabilidad media de los titulados en el Grado en Ingeniería Informática es elevada (se situó en el 94,3 % en 2013) y que las clases

del máster durante estos dos primeros cursos se impartieron en horario de mañana se puede deducir que los alumnos difícilmente podían compaginar su trabajo con los horarios del máster.

Para el curso 2016-2017 en el plan de mejora de este título se propuso cambiar el horario de mañana por uno de tarde, lo cual tuvo el efecto esperado al incrementarse el número de matriculados en los dos siguientes cursos; así, la tasa de matriculación se incrementó alcanzando el 46,6 % en el curso 2017-2018 (ver Tabla I). Aunque estos datos mejoraron significativamente, ya que este nuevo horario permitía a los alumnos compaginar mejor su trabajo con los estudios del máster, en el curso 2018-2019 la ETSII afrontó el reto de actualizar este máster y ofertarlo totalmente a distancia.

En este trabajo se va a presentar cómo se ha renovado la asignatura “Gestión de Riesgos y Seguridad en Red” para su adaptación a la nueva modalidad no presencial. Asimismo, se van a presentar las principales dificultades encontradas y cómo se han solventado.

La estructura de este trabajo es la siguiente: tras una pequeña introducción que explica las características del Máster Universitario en Ingeniería Informática en su modalidad presencial, expuesta en la sección I, en la sección II se procede a la descripción de todas las acciones llevadas a cabo para impartir la asignatura comentada siguiendo una modalidad totalmente a distancia. Posteriormente, en la sección III se expondrán los principales resultados así como las dificultades que se han observado durante la ejecución de la asignatura durante el curso 2018-2019. Finalmente, en la sección IV se proporcionarán las conclusiones más importantes que se pueden extraer de este trabajo.

II. ESTRUCTURA DEL MII NO PRESENCIAL

El Máster Universitario en Ingeniería Informática en su modalidad no presencial comenzó a impartirse en el curso 2018-2019, y al igual que en la versión presencial su carga lectiva es de 90 créditos que se imparten en dos cursos académicos. Asimismo, la organización de las asignaturas también se mantuvo, impartándose de dos en dos a lo largo de todo el curso. Esto se debió a que la experiencia en el máster presencial fue muy positiva, ya que esta distribución permite a los alumnos centrarse en exclusiva en las dos asignaturas que se están impartiendo en un momento determinado y a los profesores concentrar todo su esfuerzo durante las semanas que se imparte su asignatura.

La asignatura “Gestión de Riesgos y Seguridad en Red” es una asignatura de primer curso con una carga lectiva de

Tabla I
TASA DE MATRICULACIÓN.

Curso	Nº de matriculados	Tasa* (%)
2014-2015	7	23,3
2015-2016	5	16,7
2016-2017	10	33,3
2017-2018	14	46,6

*la oferta fue de 30 plazas.

Tabla II
ESTRUCTURACIÓN EN MÓDULOS DE LOS CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA.

Semana 1	
Módulo	Título
1	Introducción y objetivos
2	Fundamentos de la seguridad en redes
3	Ataques contra la seguridad en redes
Semana 2	
Módulo	Título
4	Introducción a la seguridad perimetral
5	Cortafuegos
6	Redes Privadas Virtuales
Semana 3	
Módulo	Título
7	Introducción al proceso de gestión de riesgos
8	Análisis de riesgos
9	Tratamiento y gestión de riesgos
Semana 4	
Entrega y evaluación de los proyectos	

4,5 créditos y fue el resultado de dividir en dos la asignatura impartida previamente en el máster presencial. De acuerdo a dicha carga la asignatura tiene asignada cuatro semanas, en las cuales debe impartirse completamente, es decir, deben abordarse todos los contenidos y realizarse su evaluación.

II-A. Contenidos y metodologías aplicadas

Dentro de la Universidad de Sevilla ya se contaba con experiencia en la puesta en marcha y desarrollo de un máster a distancia [4]. Según los autores de esta experiencia, al ser el Máster de Microelectrónica impartido a distancia, las metodologías docentes son las propias y exclusivas de procesos de e-learning, estando basada la enseñanza en el uso de una plataforma de enseñanza virtual que facilita el acceso a todas las herramientas de gestión de cursos, inclusión de materiales, desarrollo de contenidos, evaluación, comunicación, foros, tutorías, etc. En base a esta experiencia, a continuación se van a presentar todos los aspectos concretos implementados para la adaptación de la asignatura “Gestión de Riesgos y Seguridad en Red” a la modalidad a distancia.

En relación con los contenidos y las metodologías aplicadas para impartirlos se optó principalmente por una metodología basada en proyectos (ABP). La opción del trabajo colaborativo fue descartada ya que al desconocer los horarios de trabajo de cada alumno se consideró más adecuado que cada uno se organizará libremente en lugar de obligarlos a reunirse de manera remota en un mismo horario para repartirse y completar las diferentes tareas. En este sentido, los contenidos de esta asignatura se han estructurado en diferentes módulos que se imparten durante las tres primeras semanas (ver Tabla II), dedicando la última semana a la entrega y evaluación de los proyectos planteados en cada módulo.

Cuando se aplica una metodología basada en proyectos en clases donde los alumnos asisten presencialmente, generalmente los profesores exponen en primer lugar los contenidos teóricos que se van a tratar y a continuación los alumnos tienen que realizar ejercicios o actividades prácticas relacionados

con dichos contenidos. Además, los alumnos cuentan con la ayuda del profesor, si es necesaria, durante el transcurso del proyecto. En este aspecto, cuando se aplica esta metodología en un modelo de clases no presenciales el profesor no está disponible, o al menos no cuando el alumno lo necesita. Para suplir esta carencia del profesor se han propuesto las siguientes acciones:

1. Elaboración de vídeos con los contenidos teóricos de cada módulo. Antes de abordar los proyectos el alumno debe visualizar los vídeos explicativos de ese módulo y completar una autoevaluación. Aunque esta autoevaluación no cuenta para la nota final es necesario que los alumnos obtengan como mínimo un 70 % de respuestas acertadas para desbloquear los contenidos del siguiente módulo. La duración de cada vídeo es corta, oscilando entre los 5 y los 10 minutos.
2. El documento que expone el proyecto a realizar es autocontenido. Este documento no sólo incluye la descripción del proyecto sino que se aporta material de apoyo y bibliográfico con toda la información necesaria para su correcta realización.
3. Se han habilitado diferentes formas para contactar con los profesores. Así, dentro de la plataforma de Enseñanza Virtual, basada en *Blackboard* [5], se han habilitado foros donde los alumnos pueden realizar consultas; además, se dispone de la herramienta *Blackboard Collaborate* que permite habilitar un salón de clases virtuales. Fuera de esta plataforma se ha empleado la herramienta *Microsoft Teams* [6] que pone a disposición de los alumnos y profesores salas de conversación públicas y privadas y permite hacer vídeos, compartir ficheros y acceder a diferentes recursos como bloc de notas, Powerpoint, etc.

Como se ha mostrado en la Tabla II esta asignatura se ha dividido en un total de 9 módulos. Así, en el primer módulo de la primera semana, mediante un conjunto de vídeos, se presenta la información de la asignatura: conocimientos previos necesarios, índice detallado de los contenidos, recomendaciones y objetivos. A continuación, en el segundo módulo se exponen los fundamentos de la seguridad en redes: definición y enfoques de la seguridad, definición de conceptos y principios de criptografía. Finalmente, en el tercer módulo de esta primera semana se explican los ataques contra la seguridad en redes: escaneo de puertos, *sniffing*, *spoofing*, denegación de servicio (DoS), etc. Una vez finalizados estos tres módulos los alumnos pueden realizar la autoevaluación y los proyectos planteados para esta primera semana (ver Tabla III).

Dada la naturaleza técnica de la asignatura que se presenta en este trabajo resulta imprescindible el uso de un laboratorio de redes para la realización de los proyectos, tal y como ocurría en la modalidad presencial del máster. Asimismo, en el caso de otras asignaturas del máster que precisan manejar hardware (placas basadas en procesador, microcontroladores, etc.) existe la opción de proporcionar este material a los alumnos por correo o que el propio alumno lo adquiera,

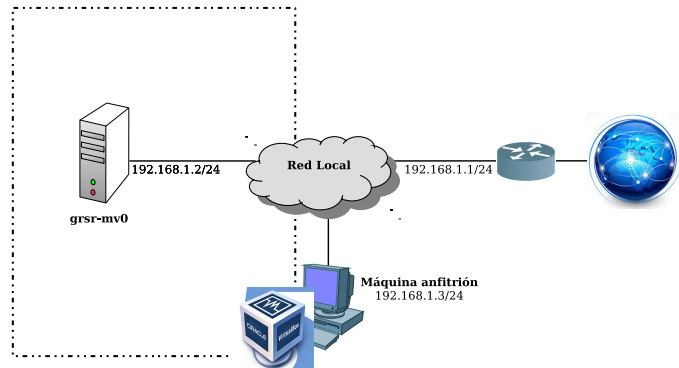


Figura 1. Topología de red para los primeros proyectos realizados.

facilitando para ello la lista de dispositivos que se van a utilizar. En el caso concreto de la asignatura descrita en este trabajo, el problema de los laboratorios de redes se ha solventado mediante el despliegue de un laboratorio de redes virtual. Para ello, la herramienta de virtualización seleccionada ha sido *VirtualBox* [7]. Un aspecto importante es que se ha proporcionado a los alumnos una imagen de una máquina virtual preinstalada, que incluye una instalación mínima de una máquina Linux (distribución Debian), y son los propios alumnos los que deben realizar la importación y configuración de las diferentes máquinas virtuales que componen el laboratorio de redes virtual. Para ello, también se les ha proporcionado material audiovisual y manuales explicando todo el proceso.

Para los proyectos 1 y 2 se comienza con una topología de red básica (Fig. 1). Sobre la máquina virtual disponible, denominada *grsr-mv0*, los alumnos deben crear una pareja de claves pública y privada y completar un conjunto de actividades: cifrado y descifrado de mensajes, comprobación de la firma digital y envío de correo electrónico seguro, donde se debe realizar un intercambio de mensajes de correo electrónico con el profesor, que deben ir correctamente firmados y cifrados. Dado que son los primeros proyectos y el nivel de dificultad es medio, el peso de la nota final asignado a cada uno ha sido del 10 % (Tabla III).

El tercer proyecto requiere un escenario más complejo, de-

Tabla III
PROYECTOS REALIZADOS Y PESOS DE LA NOTA FINAL ASIGNADOS A CADA UNO.

Semana 1		
Proyecto	Título	Peso
1	OpenPGP	10 %
2	Correo electrónico seguro	10 %
3	Seguridad de la capa de transporte (SSL/TLS)	20 %
Semana 2		
Proyecto	Título	Peso
4	Filtrado de paquetes con <i>Netfilter</i>	30 %
5	Redes Privadas Virtuales basadas en TINC	10 %
Semana 3		
Proyecto	Título	Peso
6	Aplicación del proceso de gestión de riesgos a un sistema de información	20 %

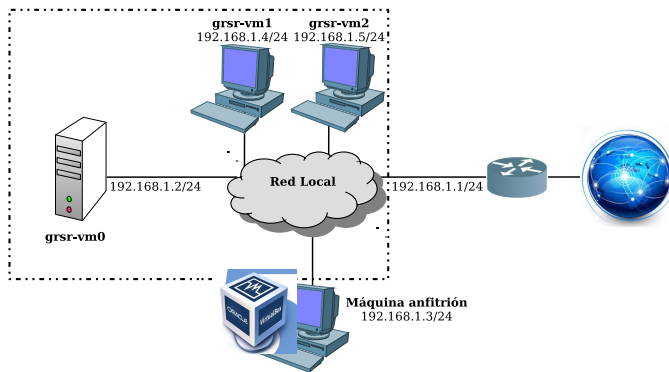


Figura 2. Topología de red para el tercer proyecto realizado.

biendo los alumnos añadir y configurar dos máquinas virtuales adicionales (Fig. 2). En este proyecto se introduce el protocolo *Secure Sockets Layer* (SSL) y su versión mejorada *Transport Layer Security* (TLS). Estos protocolos son empleados por las aplicaciones (servidores web, de correo electrónico, etc.) ya que dotan de seguridad al nivel de transporte. Así, tras la descripción del protocolo, se propone a los alumnos configurar dos servicios de red seguros, un servidor web y un servidor del protocolo de transferencia de ficheros FTP (File Transfer Protocol), en las máquinas virtuales 1 y 2 respectivamente. Las pruebas de funcionamiento de los servidores deben ser realizadas desde la máquina virtual 0. Como resultado de este proyecto los alumnos deben entregar un documento donde se relacionan todas las acciones y configuraciones que hay que realizar para aportar seguridad a dichos servicios. Al ser el nivel de esta actividad elevado se le ha asignado un peso del 20 %.

La segunda semana se compone de 3 módulos dedicados a introducir la seguridad perimetral y profundizar luego en los dos elementos principales de la misma: los cortafuegos (*firewalls*) y las Redes Privadas Virtuales (*Virtual Private Networks* - VPN). Al igual que en la primera semana tras visualizar todos los vídeos explicativos de estos módulos los alumnos pueden realizar la autoevaluación y los proyectos planteados para esta segunda semana (ver Tabla III).

El proyecto 4 requiere desplegar la topología de red mostrada en la Fig. 3. Para ello, también se proporciona a los alumnos un documento que explica detalladamente cómo adaptar la configuración de red de las máquinas virtuales para establecer un perímetro de seguridad en el laboratorio de redes virtual. En la Fig. 3 se observa cómo las tres máquinas virtuales están conectadas a una red virtual interna (192.168.2.0/24) que engloba el perímetro de seguridad. Además, la máquina virtual 0 también se conecta a la red externa (zona de riesgo) haciendo de puerta de enlace de la red interna. Con este proyecto se pretende que las dos máquinas que ofrecen servicios de red (servidor web y FTP) estén dentro del perímetro protegido y sobre la última máquina, que hace de puerta de enlace (*gateway*), se configure el *firewall* que protege el perímetro (red interna). Para ello, este proyecto se divide en dos actividades. En la primera, se proporciona al alumno un manual de

Netfilter, que consiste en un módulo del núcleo de Linux que permite el filtrado de paquetes, la traducción de direcciones y puertos y otras manipulaciones del datagrama IP (*packet mangling*). El propósito general de esta primera actividad es introducir todos los aspectos necesarios para realizar la configuración de un cortafuegos para el sistema operativo Linux. En la segunda, se persigue el objetivo especificado anteriormente, es decir, la configuración de un *firewall* en la máquina virtual 0, que es la que separa la zona protegida de la zona de riesgo.

La configuración de este *firewall* abarca diferentes tareas que se resumen a continuación:

1. Configurar la máquina virtual 0 como *gateway* (activar el reenvío de paquetes).
2. Permitir a los dispositivos de la red interna (zona protegida) el acceso a la zona de riesgo (compartir la conexión a Internet).
3. Establecer la política por defecto (se optará por una política prohibitiva).
4. Habilitar los servicios que pueden usar los dispositivos de la zona protegida (resolución de nombres, acceso web, etc.).
5. Denegar el acceso a determinados servicios y contenidos.
6. Permitir el acceso a los servicios de la zona protegida desde la zona de riesgo.
7. Registrar los sucesos que van teniendo lugar en el *gateway* (necesario para asegurar la trazabilidad).
8. Hacer persistente la configuración del *firewall*.

Al ser el nivel de esta actividad elevado se le ha asignado un peso del 30 % tal y como se muestra en la Tabla III.

En la segunda semana también se realiza otro proyecto cuya finalidad es configurar sobre la máquina virtual 0 una red privada virtual basada en TINC [8]. TINC es una solución *Open Source* basada en SSL que permite unir mediante túneles seguros un conjunto de nodos remotos, es decir, distribuidos por la red. Una vez configurada la VPN se plantea a los alumnos el escaneo de la red privada virtual con el objetivo de buscar los dispositivos conectados en la misma. Dado que los alumnos se pueden conectar a la VPN de manera intermitente, se ha configurado un nodo que se mantendrá conectado permanentemente. Una vez localizado este dispositivo, los alumnos deben afinar el escaneo y proporcionar información detallada sobre él y en especial sobre los servicios de red que tiene activos. La dificultad de este proyecto se ha considerado media por lo que de acuerdo a la Tabla III se le ha asignado un peso de la nota final del 10 %.

Continuando con la tercera semana, los contenidos tratados versan sobre el proceso de gestión de riesgos. Se han desarrollado tres módulos donde se introduce este proceso y cómo realizar el análisis y posterior tratamiento de los riesgos de un sistema de información empleando MAGERIT [9]. MAGERIT es una metodología de análisis y gestión de riesgos promovida por el Gobierno Español y enfocada a las Administraciones Públicas. Como en semanas anteriores tras visualizar todos

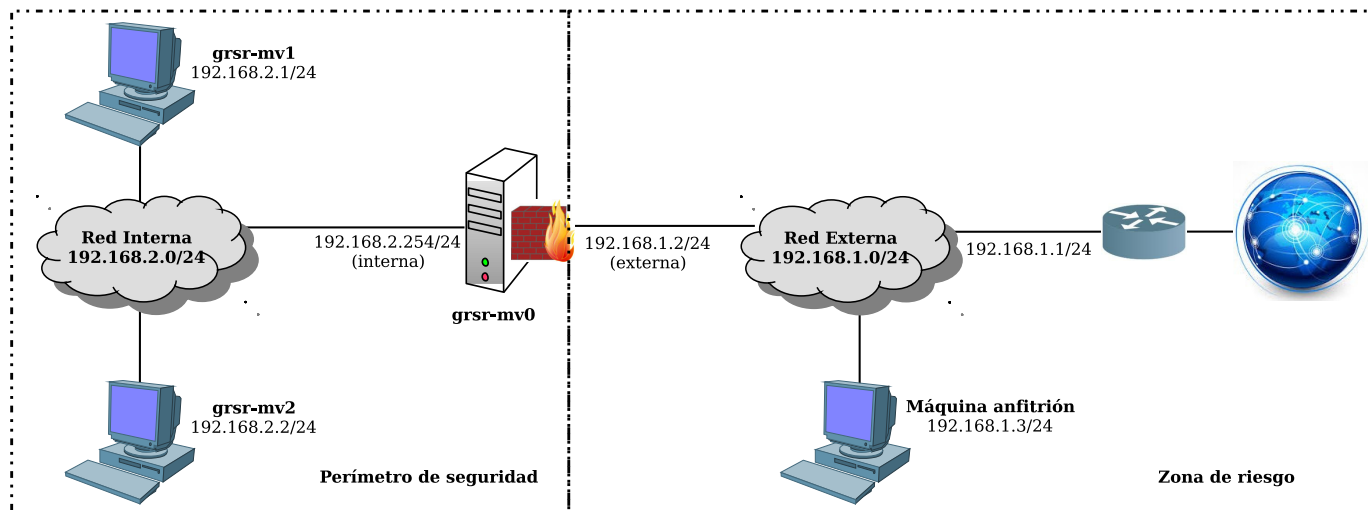


Figura 3. Topología de red para el cuarto proyecto realizado.

los vídeos y completar la autoevaluación los alumnos pueden proceder a realizar los proyectos.

Como se observa en la Tabla III para esta semana sólo está programado un proyecto. Esto se debe a que el análisis y tratamiento de riesgos no es un proceso complejo pero sí muy laborioso, donde hay que desarrollar diferentes tareas en diferentes etapas, lo cual requiere mucho tiempo. Para este proyecto se plantea un caso práctico donde se especifica un sistema de información que presenta algunos riesgos y los alumnos deben estimar el estado del riesgo y a continuación proceder a su tratamiento. Tras la toma de decisiones deben repetir el análisis y comprobar que las medidas tomadas contra las amenazas detectadas tienen el efecto esperado. Al ser un proyecto con un nivel alto se le ha asignado un peso del 20 %.

Finalmente, como se ha comentado previamente, la cuarta semana está dedicada a la evaluación. Este aspecto será tratado con detalle en el siguiente apartado.

II-B. Evaluación de los proyectos

En relación con la evaluación es preciso aclarar en primer lugar que se realiza completamente a distancia, es decir, no se requiere que los alumnos asistan presencialmente a ninguna prueba. Sin embargo, esto no quiere decir que no se exija la defensa de alguno de los proyectos a través de otras vías: videoconferencia, salas de conversación de *MS Teams*, etc., en caso de que los profesores lo estimen oportuno.

Tanto la realización de las autoevaluaciones como la entrega de la documentación requerida para la evaluación de cada proyecto se efectúa empleando la plataforma de Enseñanza Virtual (*Blackboard*). Para comprobar la identidad del estudiante en estos procesos se ha utilizado el sistema SMOWL [10]. SMOWL es un sistema continuo de autenticación de la identidad del estudiante online, que utiliza un algoritmo de reconocimiento facial automático para verificar la identidad del usuario y detectar comportamientos incorrectos a través de todo el proceso de aprendizaje.

Desde el comienzo de la primera semana todos los proyectos están disponibles para su realización. Además, se proporciona un calendario a los alumnos con una planificación por semanas. En esta planificación se incluyen las fechas de entrega recomendadas, en función del tiempo que los profesores estiman que deben dedicar a cada proyecto. No obstante, no es obligatorio entregar las actividades en la fecha recomendada sino que pueden hacerlo en cualquier momento durante el transcurso de las cuatro semanas de duración de la asignatura.

Una vez entregada la actividad se procede a su evaluación desde el centro de calificaciones proporcionado por *Blackboard* y se emite una calificación, que consiste en una nota numérica de 0 a 10 puntos. Además, se proporcionan un conjunto de comentarios sobre los errores o deficiencias detectadas. A partir de estos comentarios los alumnos pueden mejorar la resolución de su proyecto y volver a entregar de nuevo la actividad. La calificación obtenida en este segundo intento será la definitiva para el proyecto en cuestión. Para este proceso de mejora es importante que los alumnos dispongan de un tiempo adicional, de ahí que en la cuarta semana no se proponga ningún proyecto y se destine completamente a la evaluación.

Finalmente, una vez entregados y evaluados todos los proyectos la nota final se calcula aplicando los pesos indicados en la Tabla III a la calificación obtenida en cada actividad.

III. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

Según la información ofrecida por la Universidad de Sevilla [11], los datos de demanda del MII a distancia son muy alentadores, puesto que ésta ha aumentado significativamente (ver Tabla IV). Como se observa en esta tabla en el curso 2018-2019 hubo una demanda total de 69 (47 de primera preferencia y 22 de segunda y tercera) y de 87 en el curso 2019-2020 (64 de primera preferencia y 23 de segunda y tercera), ocupándose todas las plazas ofertadas (30 plazas). Si se comparan estos resultados con los del máster presencial, donde no se llegaron

a cubrir todas las plazas ofertadas en ninguno de los cursos en los que se impartió, se puede deducir que este incremento se debe a que:

1. La oferta del máster se ha extendido a un conjunto mucho mayor de estudiantes. Al eliminar la obligatoriedad de asistencia presencial cualquier alumno, sin importar su lugar de residencia actual, puede cursar el máster.
2. Esta modalidad a distancia permite que muchos estudiantes puedan compaginar en mayor medida sus trabajos y vidas personales con los estudios del máster.

En relación con los resultados académicos, en la Tabla V se observa cómo la tasa de aprobados es muy elevada en los cursos impartidos con la modalidad presencial, donde el peor resultado se encuentra en el curso 2015-2016 (80%). Este resultado se debió a la enfermedad de uno de los alumnos que motivó que no pudiera asistir a clase y completar los proyectos. En el resto de los cursos de la modalidad presencial los resultados superaron siempre el 90 %. Esto se debe al hecho de que los alumnos, además de tener una alta motivación, aprovecharon todas las ventajas que ofrece cursar las asignaturas de forma presencial: tras la explicación del profesor los proyectos se abordan en el horario de clase, los alumnos cuentan con el apoyo inmediato del profesor ante las dudas que surgen durante la realización de los proyectos, se utilizan los recursos e infraestructuras disponibles en el centro donde se imparte la titulación, etc. En relación con los resultados obtenidos en el curso 2018-2019 (modalidad a distancia) se observa cómo la tasa de aprobados se ha situado en el 63,3 %. Este resultado es coherente ya que está demostrado que la tasa de abandono en estudios a distancia es aún más elevada que en los formatos presenciales [12]. Efectivamente, los 11 alumnos no aprobados ni siquiera accedieron a los contenidos, e incluso 4 de ellos abandonaron al comenzar el máster.

García-Aretio [12] realiza un análisis exhaustivo de las principales causas de abandono en estudios a distancias. De todas las señaladas, en el caso de este máster, se considera que las dos que han tenido más influencia son:

1. La falta de tiempo para dedicar a los estudios.
2. La falta de diálogo del estudiante con la institución, los docentes y el resto de compañeros.

La falta de tiempo puede estar ligada a razones laborales, al tratar de compaginar el estudio con un determinado trabajo que puede restar horas, por lo que las obligaciones laborales de los estudiantes a distancia exigen a éstos una adecuada gestión del tiempo. Pero también es cierto que esa percepción de falta de tiempo pudiera deberse realmente a una organización

Tabla IV
OFERTA Y DEMANDA DE PLAZAS DEL MII EN SU MODALIDAD A DISTANCIA.

Curso	Oferta	Demanda	
		1ª Preferencia	2ª y 3ª Preferencia
2018-2019	30	47	22
2019-2020	30	64	23

Tabla V
RESULTADOS ACADÉMICOS OBTENIDOS EN EL MII DESDE SU COMIENZO PARA LA ASIGNATURA DE SEGURIDAD EN REDES IMPARTIDA.

Curso	Nº Alumnos	Nº Aprobados	Tasa (%)
2014-2015	7	7	100
2015-2016	5	4	80
2016-2017	10	10	100
2017-2018	14	13	92,8
2018-2019	30	19	63,3

institucional y docente deficiente respecto a los programas y cursos o de la propia orientación al estudiante para ayudarle en esa gestión del tiempo. En este sentido, si se tiene en cuenta que el 100 % de los estudiantes que comenzaron el máster estaban trabajando un aspecto muy importante es medir adecuadamente la carga de trabajo y no exigir a los alumnos proyectos de tal magnitud que sean inabordables en el tiempo de duración de la asignatura, que en el caso de este trabajo, es de cuatro semanas. La percepción de los profesores que han impartido esta asignatura es que la carga de trabajo fue adecuada. Sin embargo, el problema encontrado fue que ésta se impartió en el último bloque de forma que los alumnos ya habían desistido antes de que diera comienzo.

También puede considerarse, ante esa falta de tiempo, el problema de la frustración del estudiante en línea, ante el cúmulo de dificultades, sobre todo si es nuevo en estos escenarios, y que puede llevar al abandono. De ahí que la segunda causa más influyente que se ha considerado es la falta de diálogo. Según apunta García-Aretio si ese diálogo no es de calidad, no es eficaz, sea por déficit del estudiante, o sea por rupturas con la institución (causas institucionales), con los docentes o con los recursos (causas académicas), o con los propios pares, la deserción podrá estar más cerca. En consecuencia, desde la institución y desde la actividad docente, han de implementarse medidas y acciones concretas para restablecer esos diálogos débiles o rotos y aumentar la retención, tales como: propiciar líneas para que los estudiantes aprendan a autorregular el estudio; potenciar los servicios tecnológicos de apoyo a la docencia y el aprendizaje; impulsar una docencia de calidad adaptada a los sistemas digitales de enseñanza y aprendizaje, con diseños rigurosos, gestión eficaz de la docencia en línea y activando diferentes formas y modelos de evaluación formativa.

Finalmente, también se ha observado otro problema relacionado con la evaluación. Mientras que en una docencia presencial el profesor puede realizar un seguimiento durante las clases y garantizar que los alumnos han realizado los proyectos y las evaluaciones, en el caso de la docencia a distancia no existen tantas garantías de que esto ocurra así. El uso de SMOWL garantiza que los alumnos han realizado las autoevaluaciones y las entregas de la documentación de los proyectos pero no que dicha documentación haya sido realizada por los mismos, es decir, que los alumnos hayan recibido ayuda. Para solventar este problema resulta conveniente combinar SMOWL con otro conjunto de acciones, entre

las que destaca la defensa de los proyectos ante el profesor empleando los medios digitales disponibles. Sólo de esta forma se podrá determinar con veracidad si el alumno ha realizado el trabajo propuesto y ha adquirido realmente los conocimientos que se exigen.

IV. CONCLUSIONES

El Máster de Ingeniería Informática en su modalidad presencial presentaba buenos resultados de rendimiento y éxito pero sin embargo el problema radicaba en su baja demanda. Así, durante los cuatro cursos en los que se impartió esta modalidad la tasa de matriculación no superó el 50 %.

Este hecho motivó que la ETSII decidiera afrontar el reto de ofrecer esta titulación en una modalidad completamente a distancia. Esta nueva modalidad comenzó a impartirse en el curso 2018-2019 siendo los resultados obtenidos muy alentadores al superar la demanda las expectativas iniciales y cubrirse todas las plazas ofertadas.

Esto nos hace pensar que la decisión de la ETSII de ofrecer este máster a distancia ha conseguido su principal objetivo, es decir, facilitar a los alumnos la realización de estos estudios y poderlos compaginar tanto con su vida laboral como familiar. Esto se ha conseguido mediante la generación de material de estudio en formato audiovisual y el uso de plataformas digitales. No obstante, esta propuesta también presenta un conjunto de problemas. Por un lado, el uso de los laboratorios es casi imprescindible dada la naturaleza técnica de la asignatura que se presenta en este trabajo. Por otro lado, la evaluación también debe realizarse totalmente a distancia. Finalmente, la tasa de abandono en este tipo de educación a distancia se sitúa en niveles superiores a los encontrados en estudios presenciales. Los dos primeros problemas se han solventado mediante el despliegue de un laboratorio de redes virtual y la utilización de herramientas como SMOWL que permiten la monitorización e identificación continua de los estudiantes. En relación con el tercero es necesario potenciar el diálogo con los alumnos a diferentes niveles para intentar evitar su abandono.

ACKNOWLEDGMENT

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Industria y Competitividad del Gobierno de España a través del proyecto TIN2017-89951-P (BootTimeIoT) y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCIAS

- [1] J. Bará, J. Domingo, and M. Valero. (2011) Técnicas de Aprendizaje Cooperativo y Aprendizaje Basado en Proyectos. [Online]. Available: https://ice.unizar.es/sites/ice.unizar.es/files/users/leteo/materiales/ac_pbl.pdf
- [2] Autoinforme Global de Acreditación de Títulos. [Online]. Available: http://webapps.us.es/fichape/Doc/AUTOSEG/IG/2017_M147_autoglobal.pdf
- [3] E. Vendrel, "Empleabilidad 2013. Segundo informe sobre la empleabilidad de los egresados en las diferentes titulaciones en Ingeniería e Ingeniería Técnica Informática," Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Tech. Rep. 2, Jun. 2015.
- [4] A. J. Acosta, A. Barriga, B. Perez, and J. L. Huertas, "Experiencia de puesta en marcha y desarrollo de un máster on-line en microelectrónica," in *Actas XII Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAAE 2016)*, Sevilla, España, Jun. 2016, pp. 97–103.
- [5] Página web oficial de Blackboard. [Online]. Available: <https://www.blackboard.com/es-es>
- [6] Página web oficial de Microsoft Teams. [Online]. Available: <https://products.office.com/es-es/microsoft-teams/group-chat-software>
- [7] Página web oficial de VirtualBox. [Online]. Available: <https://www.virtualbox.org/>
- [8] Página web oficial de TINC VPN. [Online]. Available: <https://www.tinc-vpn.org/>
- [9] MAGERIT v.3: Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información. [Online]. Available: https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/pae_Documentacion/pae_Metodolog/pae_Magerit.html
- [10] Página web oficial de SMOWL. [Online]. Available: <https://smowl.net/es/>
- [11] Página web oficial del Máster Universitario en Ingeniería Informática. [Online]. Available: <https://www.us.es/estudiar/que-estudiar/oferta-de-masteres/master-universitario-en-ingenieria-informatica>
- [12] L. Garcia, "El problema del abandono en estudios a distancia. Respuestas desde el Diálogo Didáctico Mediado," *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 22, no. 1, pp. 245–270, 2019. [Online]. Available: <http://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/22433>

Aprendizaje basado en proyectos mediante la resolución de una necesidad empresarial por un grupo de estudiantes multidisciplinar

1° S. Satorres Martínez

Ingeniería Electrónica y Automática
Universidad de Jaén
Jaén, España
satorres@ujaen.es

2° D. Martínez Gila

Ingeniería Electrónica y Automática
Universidad de Jaén
Jaén, España
dmgila@ujaen.es

3° P. Cano Marchal

Ingeniería Electrónica y Automática
Universidad de Jaén
Jaén, España
pcano@ujaen.es

4° A. Kakko

HEIBus Project Manager
JAMK University of Applied Sciences
Jyväskylä, Finlandia
Anneli.Kakko@jamk.fi

5° J. Gómez Ortega

Ingeniería Electrónica y Automática
Universidad de Jaén
Jaén, España
juango@ujaen.es

6° J. Gámez García

Ingeniería Electrónica y Automática
Universidad de Jaén
Jaén, España
jggarcia@ujaen.es

Resumen—Este trabajo presenta una nueva metodología de aprendizaje basado en proyectos centrada en la resolución de un caso de estudio propuesto por una empresa. La metodología está basada en uno de los modelos diseñados en el marco del proyecto europeo KA2 Erasmus + “Smart HEI-Business collaboration for skills and competitiveness”, proyecto HEIBus. Formado por un consorcio de 5 universidades europeas y 7 empresas con actividad internacional, el proyecto HEIBus se ha centrado en el desarrollo e implementación de nuevos modelos de cooperación universidad-empresa. La resolución de casos de estudio propuestos por empresas, mediante grupos de estudiantes multidisciplinarios, es el modelo de cooperación estudiante universitario-empresa implementado en el HEIBus. Este modelo se ha adaptado a una metodología de aprendizaje basado en proyectos que será de aplicación en asignaturas del Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Jaén.

Palabras clave—Aprendizaje basado en proyectos, cooperación universidad-empresa, multidisciplinar.

I. INTRODUCCIÓN

Los expertos han pronosticado que en el futuro mercado laboral habrá un aumento en la demanda de trabajadores cualificados, con unas competencias técnicas y transversales que les permitan adaptarse a los diferentes tipos de trabajo y a las necesidades de cada sector. En este sentido, las universidades deberían proporcionar graduados dispuestos a trabajar en un entorno global, multicultural y en constante evolución. Las metodologías docentes tradicionales, basadas en atender y recibir la información de un modo unidireccional, no siempre responden a estas necesidades. Por ese motivo, y cada vez más, se están implantando nuevas metodologías docentes y de aprendizaje.

Entre las nuevas metodologías de aprendizaje destaca el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP o PBL, Project-based learning) [1]. Mediante el ABP los estudiantes adquieren un

rol activo en el que no sólo memorizan o recogen información, sino que aprenden haciendo. El método consiste en la realización de un proyecto, habitualmente en grupo, que debe ser analizado previamente por el profesor para asegurar de que el alumno tiene todo lo necesario para resolverlo, y que en su resolución desarrollará todas las competencias que se desea.

Otro aspecto clave para mejorar la docencia a nivel universitario es la cooperación universidad-empresa. Se ha demostrado que esta cooperación beneficia a ambas partes [2]. Por un lado, los estudiantes ponen en práctica los conocimientos teóricos aprendidos, ganando a su vez experiencia laboral. Por otro lado, la empresa se involucra en el proceso de aprendizaje, aportando casos de estudio, además de tener la posibilidad de captar a los mejores estudiantes para formarlos acorde a sus necesidades.

Este trabajo va encaminado a la implementación de una nueva metodología docente con la que se fusionarán los dos aspectos anteriormente mencionados para mejorar la docencia universitaria: el aprendizaje basado en proyectos y la cooperación universidad-empresa. Dicha metodología ha sido diseñada en el proyecto europeo HEIBus, acrónimo de Smart HEI-Business collaboration for skills and competitiveness [3], [4] y será puesta en práctica en distintas asignaturas del Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, al que están adscritos los autores con afiliación a la Universidad de Jaén.

La estructura de este artículo es la siguiente: en la Sección II se detalla el modelo propuesto en el proyecto HEIBus, para incrementar la cooperación entre estudiantes universitarios y empresas. Se trata del modelo “multidisciplinary Real Life Problem Solving (RLPS)”. La Sección III presenta un caso de estudio, propuesto por una empresa de automatización, que ha sido utilizado en uno de los proyectos RLPS implementados.

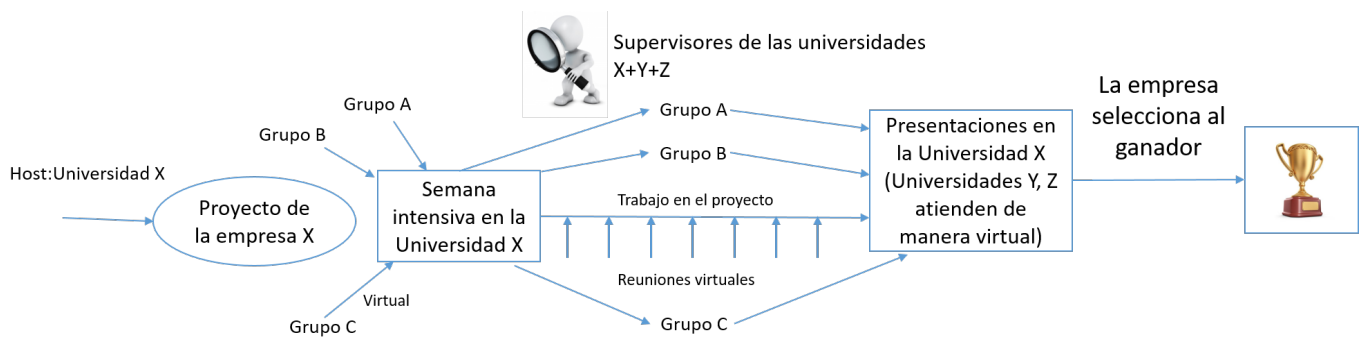


Fig. 1. Modelo RLPS implementado en el proyecto HEIBus

Se detallará la necesidad de la empresa y cómo se podría adaptar el modelo RLPS para su aplicación en distintas asignaturas para llevar a cabo un ABP. La Sección IV presenta los resultados alcanzados en el proyecto HEIBus por los distintos grupos de estudiantes y cómo la empresa se benefició de estos resultados. El artículo finaliza con las conclusiones descritas en la Sección V.

II. MODELO REAL LIFE PROBLEM SOLVING

Una de las principales aportaciones del proyecto HEIBus ha sido la propuesta e implementación de modelos de cooperación entre estudiantes universitarios y empresa, profesorado universitario y empresa y de cómo la empresa se ha involucrado en la docencia universitaria. En el caso de estudiantes universitarios y empresa, se desarrolla un modelo específico que se denomina “multidisciplinary Real Life Problem Solving (RLPS)”. El RLPS es una propuesta ampliada y mejorada de un estudio que se realizó en un proyecto europeo previo, gestionado por uno de los socios del HEIBus, el proyecto RePCI [5]. En el modelo desarrollado en RePCI participaban grupos de estudiantes de Ingeniería Mecánica de dos universidades europeas distintas para resolver un caso de estudio propuesto por una empresa. Finalizada la implementación, la empresa elegía una solución ganadora. Con el proyecto HEIBus esta idea se amplía tomando una vertiente multidisciplinar en la que prima el trabajo virtual (Fig. 1).

De este modo, la idea principal del modelo RLPS es que estudiantes de diferentes nacionalidades y programas educativos forman grupos para resolver un caso de estudio, denominado proyecto, propuesto por una de las empresas del consorcio. Este modelo ofrece a los estudiantes de ingeniería la oportunidad de involucrarse en una experiencia práctica que permitirá no sólo aumentar los conocimientos teóricos en ciertas materias, sino que también entrenará capacidades tales como el trabajo grupal o el desarrollo de un proyecto en un entorno multilingüe.

En cada uno de los proyectos RLPS participan tres universidades y una empresa. Los proyectos RLPS comienzan con una semana intensiva de trabajo en uno de los países de las universidades del consorcio. La universidad en cuestión, denominada “host”, será la encargada de organizar la semana de trabajo, contactar con una empresa para ofrecer un caso

de estudio, seleccionar a los estudiantes de su universidad que participarán en el proyecto y seleccionar al menos dos profesores que actuarán como supervisores de los grupos de estudiantes. Por otra parte, el resto de universidades también seleccionarán a sus estudiantes y profesorado supervisor.

Los estudiantes seleccionados se organizan en tres grupos de seis miembros (2 estudiantes por universidad). Dos de estos grupos serán presenciales mientras que el tercero será virtual. La diferencia fundamental entre los grupos presenciales y el virtual es que, los primeros, viajan al país de la universidad “host” durante la semana intensiva de trabajo. El grupo virtual sólo se reúne mediante Skype o cualquier plataforma de comunicación que permita chats, compartir documentos y videoconferencias.

En la semana intensiva de trabajo los alumnos asisten a conferencias, visitas a empresas y mantienen reuniones de coordinación con el objetivo de tener una planificación del trabajo a realizar durante la ejecución del proyecto. Durante un máximo de tres meses los alumnos trabajan desde sus universidades manteniendo reuniones periódicas e informando tanto a la empresa como a los supervisores de los avances alcanzados. El proyecto concluye con una presentación de resultados y la empresa se encarga de seleccionar al grupo que mejor ha abordado el problema.

En el transcurso de los tres años de duración del proyecto HEIBus se han realizado dos rondas de RLPS con tres casos de estudio en cada ronda. La primera ronda de proyectos fue organizada por las universidades: JAMK University of Applied Science (Finlandia) en colaboración con ITAB Shop Concept Finland, Technical University of Cluj-Napoca (Rumania) en colaboración con Automates ACM y la Universidad de Jaén (España) en colaboración con el Centro Tecnológico del Plástico, Andaltec. En el caso de la segunda ronda los organizadores fueron: Esslingen University of Applied Sciences (Alemania) en colaboración con FESTOOL GmbH, Universidad de Miskolc (Hungría) en colaboración con Robert Bosch Power Tool Kft. y la Universidad de Jaén (España) en colaboración con la empresa Integración Sensorial y Robótica (ISR).

Los seis RLPS desarrollados han sido muy beneficiosos tanto para empresas como universidades. Algunas de las soluciones propuestas han sido implementadas a nivel comercial

y han generado publicaciones científicas [6], [7], [8], [9] y ponencias en conferencias internacionales [10], [11].

III. CASO DE ESTUDIO: EL PROYECTO ISR

El proyecto ISR fue propuesto, a petición de la Universidad de Jaén, por la empresa Integración Sensorial y Robótica (ISR) y ha sido llevado a cabo en la segunda ronda de RLPS del proyecto HEIBus. Debido a su temática y a la cercanía con la empresa y a su buena predisposición, este proyecto ha sido seleccionado para su utilización como experiencia piloto en tres asignaturas de distintos Grados de la Escuela Politécnica Superior de Jaén. Se presenta, a continuación, en qué consiste el proyecto y la propuesta de adaptación para su utilización en las asignaturas seleccionadas a modo de Aprendizaje Basado en Proyectos.

A. Descripción del proyecto ISR

La empresa ISR [12] nació en el año 2016 como una spin-off de la Universidad de Jaén. Ubicada dentro del contexto del Grupo universitario de Investigación en Robótica y Automática de dicha universidad, la empresa cuenta con una amplia experiencia en el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y de productos basados en la integración sensorial y en la automatización avanzada, ya sean para la industria, en general, como para el sector AGRO. Es dentro de esta última línea de negocio es donde se ubica el proyecto ISR.

Por tanto, la empresa ISR propone un proyecto cuyo objetivo es el desarrollo de un sistema de monitorización local con acceso y almacenamiento remoto que permita disponer de información, en tiempo real, de un determinado cultivo. Tal y como se muestra en la Fig. 2, será necesario diseñar y fabricar una tarjeta electrónica para la adquisición de datos de los distintos sensores, un encapsulado para contener a toda la electrónica y protegerla de los factores medioambientales y el desarrollo de aplicaciones software para el acceso y envío de datos.

El sistema estará basado en Raspberry Pi y en cuanto a la sensorística a utilizar se establecen unos mínimos, siendo necesario incluir sensores de: humedad y temperatura ambiente, humedad y temperatura de suelo y radiación solar. Adicionalmente será posible incluir visión por computador (cámara 2D trabajando en el espectro visible). En este caso será necesario implementar algoritmos de visión por computador para detectar el estado de un fruto u otro tipo de información de utilidad.

La conectividad para el almacenamiento remoto debe de ser mediante Wi-Fi y la alimentación mediante fuente de alimentación conectada a la red. También es posible incluir una modificación adicional sustituyendo la alimentación a red por fuente de alimentación más baterías. De esta forma el sistema de monitorización de variables agronómicas podría funcionar de manera autónoma. Teniendo en cuenta lo anterior se establecen los siguientes tres niveles de implementación:

- Básico. Sólo incluye sensores de humedad y temperatura I2C, pudiendo además incorporar una cámara de visión por computador.

- Avanzado. Incluye todo lo anterior además de sensores analógicos de humedad de suelo.
- Completo. Incluye lo de las versiones anteriores además de sensores analógicos de voltaje, sensores de corriente I2C, baterías, cargador solar y panel solar.

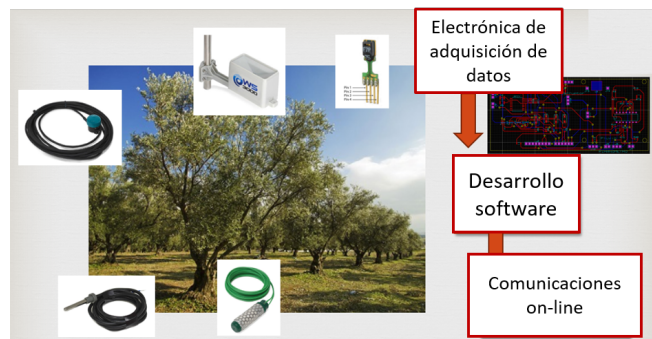


Fig. 2. Objetivos del proyecto ISR

B. Proyecto ISR adaptado al ABP

Los proyectos RLPS, definidos en el HEIBus, se caracterizan principalmente por ser:

- Multilingües. Los grupos de estudiantes están formados por miembros de distintos países.
- Multidisciplinares. Los integrantes del grupo pertenecen a distintos planes de estudio.
- Virtuales. La mayor parte del tiempo se trabaja de manera remota.

Básicamente, las características anteriores vienen condicionadas por el tipo de grupo de estudiantes, la temática del proyecto y el modo de implementación del mismo. Al adaptar un RLSP a una o varias asignaturas de grado, la característica multilingüe permanecerá si en el grupo hay algún estudiante de intercambio. La temática del proyecto define si es necesaria o no la característica multidisciplinar. En el caso que nos ocupa, el proyecto ISR, es absolutamente necesaria. De hecho, esta característica ha sido concluyente a la hora de decidir qué asignaturas se incorporarían en esta experiencia. Finalmente, la característica virtual deja de estar presente ya que todos los integrantes del grupo pertenecen a la Universidad de Jaén y realizan todas las actividades de manera presencial.

1) *Constitución de los grupos:* Una vez definidos por la empresa el objetivo del proyecto y los resultados esperados, un grupo de profesores, que han formado parte del proyecto HEIBus, evalúan la viabilidad en la implementación del mismo y proponen un grupo de asignaturas donde podría ponerse en práctica. Esta fase requiere de reuniones con la empresa para que lo que se desarrolle sea de utilidad para ellos y además sea factible de realizar en un semestre o en un curso académico.

En el caso del proyecto ISR, será necesario que los miembros del grupo, una vez finalizado el mismo, adquieran los siguientes resultados de aprendizaje:

- Entender la estructura general de un sistema de visión por computador.

- Comprender los fenómenos involucrados en el proceso de captación de imágenes.
- Conocer las técnicas algorítmicas utilizadas en cada una de las etapas de un sistema de visión por computador.
- Aplicar, de forma práctica, el acondicionamiento de sensores.
- Saber interpretar las características técnicas que proporcionan los fabricantes de sensores, de los distintos circuitos de acondicionamientos integrados así como de tarjetas y sistemas de adquisición de datos.
- Programar, configurar y manejar tarjetas de adquisición de datos.
- Diseñar y evaluar interfaces persona computador que garanticen la accesibilidad y usabilidad a los sistemas, servicios y aplicaciones informáticas.
- Conocer y aplicar los principios fundamentales y técnicas básicas de los sistemas inteligentes y su aplicación práctica.

En base a estos resultados se ha realizado una selección de asignaturas, dando prioridad a las que tengan un carácter optativo. Se ha optado por este tipo de asignatura ya que los grupos de estudiantes son más reducidos y las competencias y resultados de aprendizaje son más específicos.

Por tanto, las asignaturas que podrían participar en la experiencia piloto serían:

- Sistemas de Percepción Industrial. Optativa de 4º curso, 2º cuatrimestre del Grado en Electrónica Industrial.
- Sistemas de Adquisición de Datos. Optativa de 4º curso, 1ª cuatrimestre del Grado en Electrónica Industrial.
- Inteligencia ambiental. Optativa de 4º curso, 2º cuatrimestre del Grado en Ingeniería Informática.

Debido a que el número de grupos y de estudiantes por grupo definido en el proyecto HEIBus se consideró adecuado, se formarían tres grupos de seis estudiantes. En cada grupo habría dos estudiantes de cada una de las tres asignaturas implicadas. Además, en todas las asignaturas que potencialmente participarían se contempla, como parte de la evaluación de las mismas, la realización de trabajos, casos o ejercicios prácticos. El trabajo que los alumnos realizarían en el proyecto serviría para calificar este ítem. La Fig. 3 muestra un resumen de cómo se constituirían los grupos de estudiantes.

Es importante destacar que sería necesario un seguimiento y tutorización del trabajo realizado por los estudiantes. En este caso, el grupo de profesores supervisores estaría formado por los docentes de las asignaturas implicadas.

2) *Actividades a desarrollar:* De la experiencia previa en gestión de RLPS se enumeran un conjunto de actividades que sería interesante realizar durante la ejecución del proyecto.

- Seminarios. En el periodo de docencia de las asignaturas implicadas sería interesante organizar seminarios realizados por el personal de la empresa y/o el profesorado de las asignaturas, con objeto de ayudar a los estudiantes a asimilar y reforzar los conocimientos teóricos que necesitarán para ejecutar el proyecto. También, sería conveniente una reunión inicial de lanzamiento donde

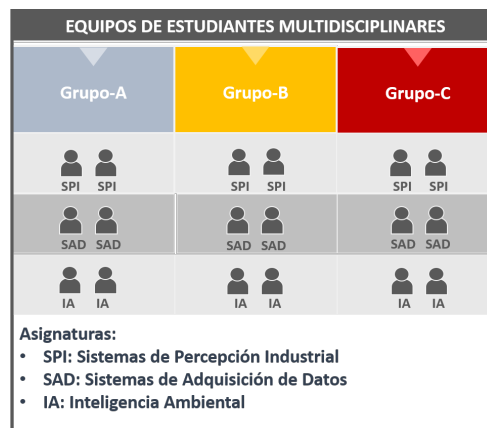


Fig. 3. Constitución de los grupos

la empresa explicase los objetivos del proyecto y los resultados esperados.

- Talleres. En ocasiones, si la temática del proyecto es muy específica o compleja, pueden organizarse talleres prácticos en los que los miembros del grupo trabajen con equipos bajo la supervisión del profesorado.
- Reuniones de seguimiento con supervisores. Sería interesante presentar un informe cada dos semanas de los avances alcanzados. De esta manera el seguimiento por parte de los docentes será más efectivo.
- Reuniones de seguimiento con empresa. Al menos una vez al mes sería conveniente informar a la empresa de los logros alcanzados y de los puntos bloqueantes del proyecto.

3) *Planificación temporal:* La distribución temporal de las asignaturas seleccionadas condiciona la duración total del proyecto. Puesto que una asignatura se imparte en el primer semestre y las otras dos en el segundo, la duración del proyecto será de un curso académico. Se presenta, a continuación, una propuesta de planificación temporal:

- Antes del comienzo de curso, los profesores de las asignaturas implicadas mantendrán reuniones con la empresa para concretar todos los detalles del proyecto.
- Al inicio del curso, los profesores realizarán una reunión informativa para explicar la propuesta a los alumnos de cuarto curso. Esto puede ser muy favorable para las asignaturas implicadas ya que puede incrementar el número de alumnos con interés en participar en esta experiencia.
- En las primeras semanas de clase se conformarán los grupos de trabajo.
- Al final del primer semestre, los alumnos de las asignaturas incluidas en este semestre presentarán los resultados parciales del proyecto. En el caso del proyecto ISR sería la adquisición de información de todos los sensores salvo el de visión por computador.
- A final del segundo semestre, se presentará el resultado final del proyecto y la empresa seleccionará una solución ganadora.

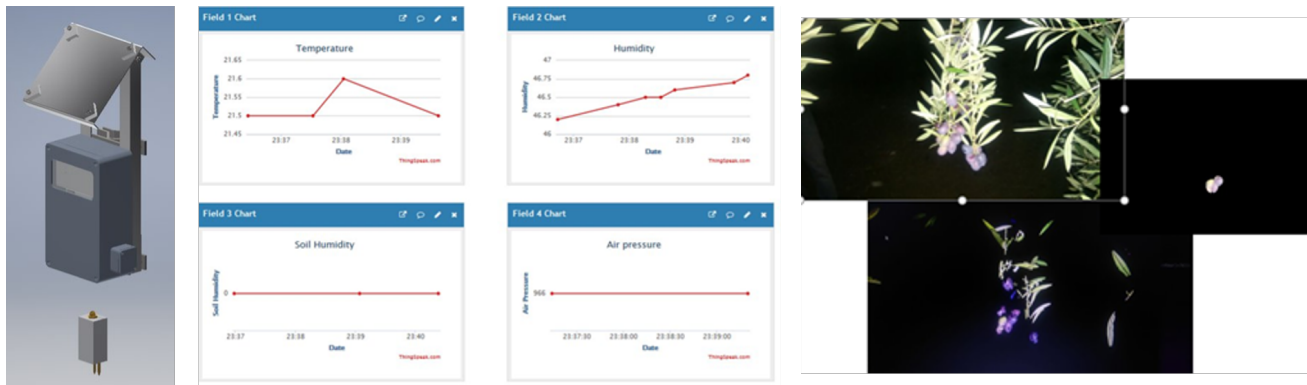


Fig. 4. Resultados del proyecto ISR. De izquierda a derecha: diseño CAD de la carcasa; monitorización de temperatura y humedad ambiente, humedad de suelo y presión atmosférica; procesamiento de imagen para detección de fruto.



Fig. 5. Opinión del alumnado involucrado en los RLPS del HEIBus

IV. RESULTADOS

Se detallan en esta sección los resultados alcanzados en el proyecto ISR, incluido en las implementaciones de RLPS realizadas en el HEIBus. También se recoge un análisis de la opinión del alumnado implicado en los seis proyectos RLPS desarrollados en dos rondas.

A. RLPS. Proyecto ISR

Dos de los tres grupos de estudiantes involucrados en el proyecto ISR desarrollaron una solución integral que incluía sensores digitales y analógicos, visión por computador y lo necesario para que el sistema funcionase de manera autónoma. Las aplicaciones software para el acceso y envío de datos estaban basadas en la plataforma ThingSpeak [13]. Uno de los grupos participó de manera presencial en la semana intensiva de trabajo, realizada en octubre del 2018 en la Universidad de Jaén, y el otro se trataba del grupo virtual. La Fig. 4 muestra algunos de los resultados alcanzados. Los alumnos entregaron, a nivel de diseño mecánico, la carcasa en la que se debería contener la electrónica del prototipo. La adquisición de datos, incluida la electrónica asociada, fue implementada en su totalidad, también las aplicaciones software para monitorización de variables agronómicas. La Fig.4 (izquierda) muestra

un diseño mecánico de carcasa y la Fig. 4 (centro) la monitorización de temperatura y humedad ambiente, humedad de suelo y presión atmosférica. Estas variables están directamente correlacionadas con el crecimiento del fruto e indirectamente con la calidad del aceite de oliva elaborado a partir de dicho fruto [14].

El grupo restante se centró en la visión por computador. El cultivo seleccionado fue el olivar, debido a su importancia estratégica a nivel comercial en la provincia de Jaén. Fundamentalmente se trabajó en la adquisición y procesamiento de imagen, con el objetivo de extraer los frutos de una rama y proceder, posteriormente, a su evaluación. Esta aplicación podría tener gran interés para el sector, ya que un uso potencial podría ser el de informar al agricultor del estado del fruto para de esta forma decidir el momento óptimo de su recolección. Algunas imágenes de extracción del fruto se muestran en la Fig. 4 (derecha). Los algoritmos implementados extraían los frutos de manera adecuada, pero sólo bajo unas condiciones de iluminación controladas. Esta limitación hace que no puedan ser implementados en campo y que requieran de una adaptación.

B. Opinión del alumnado

Un total de 108 participantes en los seis proyectos RLPS implementados en el HEIBus fueron encuestados y los resultados se muestran en la Fig. 5. Lo que más valoraron fue estar involucrados en la resolución de un caso de estudio real (83.3%). También consideraron bastante interesante estar en un equipo internacional y multidisciplinario que le permitiese establecer relaciones con estudiantes de otros países (74.1% y 72.2%, respectivamente). Un 59.3% consideró que había mejorado su conocimiento de la lengua inglesa y un 46.3% valoró que el contacto con la empresa le había ayudado a comprender qué capacidades son necesarias para la incorporación en el mundo laboral. Trabajar de manera remota fue una experiencia positiva para el 40.07%. Un 37% y un 35.2% respectivamente consideraron importante el contacto con personal universitario de otros países y personal de la empresa. Sólo un 27.8% valoró que los proyectos tenían una alta complejidad técnica.

V. CONCLUSIONES

Este artículo presenta una propuesta de APB basado en la resolución de un caso de estudio ofrecido por una empresa, mediante un grupo de estudiantes multidisciplinar. El modelo desarrollado es una adaptación de un modo de cooperación entre estudiantes universitarios y empresa, realizado en el marco del proyecto europeo KA2 Erasmus + “Smart HEI-Business collaboration for skills and competitiveness (HEIBus)”. Este modo de cooperación se denomina “multidisciplinary Real Life Problem Solving (RLPS)” y fue testeado con la implementación de seis proyectos, en el transcurso de los tres años de duración del proyecto. Los resultados alcanzados y el grado de satisfacción de los estudiantes implicados, profesorado universitario y empresas colaboradoras han motivado la adaptación del modelo para su utilización en asignaturas de Grado y Máster.

La descripción detallada de un proyecto RLPS, así como los resultados obtenidos en una de sus implementaciones, se muestran en el artículo. También, se detallan que pasos habría que seguir para poder implementarlo en un grupo de asignaturas. El grupo de asignaturas viene condicionado por la temática del caso de estudio, por lo que las propuestas presentadas podrían ser de utilidad en otras asignaturas.

En el próximo curso académico se espera realizar una implementación en las asignaturas mencionadas. Basándonos en la experiencia previa alcanzada con el proyecto RLPS de ISR, se espera conseguir resultados similares, o incluso mejorados en ciertos aspectos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto europeo Erasmus + Knowledge Alliances 2 (KA2) “Smart HEI-Business collaboration for skills and competitiveness (HEIBus)” y financiado mediante el proyecto DPI2016-78290-R. Los autores agradecen a la empresa Integración Sensorial y Robótica (ISR) la propuesta del caso de estudio así como su cooperación. También, agradecen a los profesores contactados

por su predisposición a la implantación de la metodología propuesta en sus asignaturas.

REFERENCIAS

- [1] Boss, S., Krauss, J., “Project-Based Learning: Strategies and Tools for Creating Authentic Experiences. International Society for Technology in Education,” ISBN-10: 156484773X, 2019.
- [2] Vincent-Lancrin, S., Urgel, J., Kar, S. and Jacotini, G., “Measuring Innovation in Education 2019: What Has Changed in the Classroom?,” Educational Research and Innovation, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264311671-en>, 2019.
- [3] Smart HEI-Business collaboration for skills and competitiveness (HEIBus) [on line] <http://www.heibus.eu/>. Último acceso en marzo de 2020.
- [4] Kakko, A., Matilainen, J., Satorres Martínez, S., “Smart HEI-business collaboration for skills and competitiveness,” Proceedings of the 45th SEFI Annual Conference 2017 - Education Excellence for Sustainability, SEFI 2017, pp. 331-338, Azores (Portugal), 2017.
- [5] Kakko, A., “Reshaped Partnerships for Competitiveness and Innovation Potentials in Mechanical Engineering,” Proceedings of the 44th SEFI Annual Conference 2017 - Education Excellence for Sustainability, SEFI 2016, Tampere (Finland), 2016.
- [6] Kmetz-Balázs, B., Magyar-Ferenc, J.S., “Biodegradable Toothbrush,” Design of Machines and Structures, Vol. 8, No. 2, pp. 19-29, 2018.
- [7] Rusu, C., Besoiu, S., Kacso-Vidrean, L., Lapusan, C., “New approaches in on-line evaluation of photovoltaics systems efficiency by implementing IoT monitoring solutions,” Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, vol. 62, issue IV, November, 2019.
- [8] Majoros, P., Szabó, F., “The “perfect” mixing machine”, Design of Machines and Structures, Vol. 9, No. 2, pp. 25-37, 2019.
- [9] Lajos, B., Kelemen, L., “Designing pneumatic circuit of a cheese slider,” Design of Machines and Structures, vol. 8, no. 1, pp. 5-1, 2018.
- [10] Satorres Martínez, S., Estevez, E., Kakko, A., Matilainen, J., Gómez Ortega, J., Gámez García, J., “Bridging the gap between Higher Education Institutions and companies. The HEIBus cooperation models,” Proceedings of the 13th International Technology, Education and Development Conference, INTED2019, pp. 8114-8122. ISBN: 978-84-09-08619-1, 2019.
- [11] Kakko, A., “Smart collaboration for skills and competitiveness in engineering education,” Proceedings of the 47th SEFI Annual Conference 2019 - New Notions of Interdisciplinarity in Engineering Education, 2019.
- [12] Sensorial and Robotic Integration, ISR company [on line] <https://isr.es/isr-eng/>. Último acceso en marzo de 2020.
- [13] ThingSpeak for IoT projects [on line] <https://thingspeak.com/>. Último acceso en marzo de 2020.
- [14] Navarro Soto, J., Satorres Martínez, S., Martínez Gila, D., Gómez Ortega, J., Gámez García, J., “Fast and reliable determination of virgin olive oil quality by fruit inspection using computer vision,” Sensors, vol. 18, núm. 11, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113826>, Noviembre 2018.

IMPLEMENTACIÓN DE PEDAGOGÍAS PROBLÉMICAS EN EL ÁREA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MSc. Luis Fernando Rico Riveros
Director Ingeniería Electrónica
Universidad ECCI
Bogotá, Colombia
direccion.electronica@ecc.edu.co

MSc. Víctor Hugo Bernal Tristanchó
Profesor Tiempo Completo
Universidad ECCI
Bogotá, Colombia
vbernalt@ecc.edu.co

MSc. Erika Johana Ruiz Suárez
Directora Currículo Institucional
Universidad ECCI
Bogotá, Colombia
direccion.curriculo@ecc.edu.co

Abstract. *The Pedagogical Approach of the University is established from a constructivist model which is developed from a problemizing pedagogy that allows in academic programs the development of the thematic contents proposed in each of the University programs. The Electronic Engineering program has adopted the pedagogical approach through the generation of problem questions for each of the areas that make up the curriculum. Automation being one of the areas and depth line with more significant developments and advances, oriented from engineering models to the design and implementation of automated systems. This methodology allows students to strengthen critical and research thinking that generates solutions to these problems presented in the area of automation.*

Keywords—*Enfoque Pedagógico, Pedagogía problémica, relación funciones sustantivas, Automatización.*

I. INTRODUCCIÓN

El Enfoque pedagógico de la Universidad ECCI se establece mediante un modelo constructivista el cual se desarrolla a partir de una pedagogía problémica [1] que permite en los programas académicos el desarrollo de los contenidos temáticos propuestos en cada una de las asignaturas de los programas de la Universidad. El programa de Ingeniería Electrónica ha adoptado el Enfoque Pedagógico [2] a través de la generación de preguntas problemas para cada una de las áreas que componen el plan de estudios. Siendo la automatización industrial una de las áreas y línea de profundización con más desarrollos y avances significativos orientada desde los modelos de ingeniería para el diseño e implementación de sistemas automatizados [3]. En el curso de Automatización Avanzada I de octavo semestre de Ingeniería Electrónica, se aplica este modelo de pedagogía en el desarrollo de situaciones problémicas simuladas a pequeña escala mediante el uso de herramientas computacionales y equipos en los laboratorios especializados con los que cuenta la Universidad como son: sistema de producción modular didáctico, robots industriales, módulos de instrumentación, módulos de controladores lógicos programables, entre otros. Esta metodología permite fortalecer en los estudiantes un pensamiento crítico e investigativo que generan soluciones a dichas problemáticas presentadas en el área de automatización.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

La Universidad se distingue por orientar los procesos académicos de formación profesional a través de ciclos propedéuticos [4]. Una de las estrategias que denota el currículo es el ciclo propedéutico, que articula los niveles de

formación tecnológico con el profesional universitario. En el primer ciclo el estudiante adquiere las competencias desde el nivel tecnológico, el cual se desarrolla en cinco semestres, al culminar el estudiante cumple con los requisitos de grado estipulados en el reglamento estudiantil para graduarse como tecnólogo. En el segundo ciclo el estudiante adquiere los conocimientos desde el componente de Ingeniería haciendo énfasis en el diseño, administración y desarrollo de proyectos en el área disciplinar. En la Figura 1 se da a conocer la articulación de los ciclos propedéuticos.

Figura 1 Distribución de los Niveles de Formación de Tecnología e Ingeniería



Fuente: Elaboración propia.

El programa académico de Ingeniería Electrónica se enmarca bajo el Enfoque Pedagógico sustentado en una pedagogía problémica por medio de la cual se evalúan las habilidades a través de la creatividad, la proposición de soluciones a una problemática particular y el pensamiento crítico y analítico aplicando estrategias didácticas como: proyectos integradores de aula, trabajo por proyectos, aprendizajes colaborativos, estudios de casos, juegos de roles así como participación en talleres y prácticas de laboratorio y salidas de campo.

De otra parte el diseño curricular tiene en cuenta las necesidades y particularidades de la disciplina, para su desarrollo se establecen dos tipos de cursos: Cursos teóricos y cursos teóricos – prácticos.

De los estudios de pertinencia realizados que aportan al proceso de formación se responde a las necesidades del país en los sectores de la electrónica, telecomunicaciones, control electrónico y automatización industrial. El plan de estudios se caracteriza por ser integral abordando cursos de los campos de

formación: básico, básico de la profesión, aplicados a la profesión y socio humanístico y de comunicación.

En la consulta de referentes internacionales como lo es IEEE y sus redes de colaboración con demás asociaciones permiten dar un sustento a la normatividad, estandarización, documentación técnica, investigativa tecnológica y académica, que cobija y da un alcance a diferentes aspectos de una propuesta curricular, una de estas asociaciones que está ligada a los procesos académicos en unión con IEEE es la asociación TAAE: Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica.

Del congreso TAAE 2012, se resalta el artículo: “Taxonomía de los niveles del aprendizaje de la ingeniería y su implementación mediante herramientas informáticas” [5]. Del artículo se pone de manifiesto el énfasis en la conveniencia de la enseñanza cíclica de la ingeniería dividida en cuatro niveles:

A. Nivel de manipulación y comprensión de los conceptos básicos (Technician).

B. Nivel de análisis y síntesis de sistemas sencillos (Technologist).

C. Nivel de síntesis de sistemas complejos mediante métodos tradicionales (Engineer).

D. Nivel de síntesis mediante métodos no tradicionales o en campos de aplicación nuevos (Engineering Doctor).

Se resalta también lo expuesto por los autores de la ponencia y el artículo que plantearon, a partir de la taxonomía de Bloom, el desarrollo de una nueva taxonomía basada en el carácter cíclico de la enseñanza de la ingeniería, dividida en cuatro niveles sucesivos, aunque no disjuntos:

A. Nivel de comprensión y conocimiento

B. Nivel de análisis y aplicación: Subnivel de análisis, Subnivel de aplicación

C. Nivel de diseño de sistemas

D. Nivel de creación en ingeniería

Del mismo artículo, en la Figura 2 se presenta el mapa conceptual denominado “sistema integrado para la enseñanza de la electrónica (SIAPE)”, haciendo un recorrido y trazabilidad del mismo se resaltan los componentes tecnológicos y de nivel profesional, de aprendizaje y enseñanza en la electrónica en las áreas de:

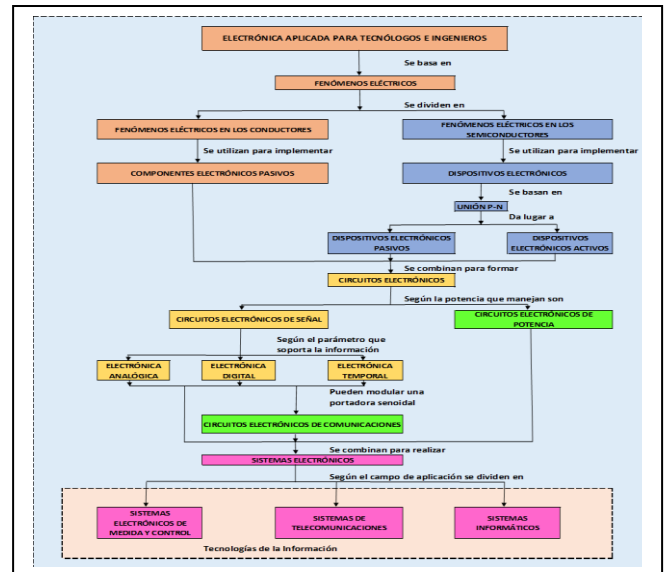
a. Circuitos eléctricos (fenómenos eléctricos en los conductores y componentes electrónicos pasivos),

b. Electrónica básica (fenómenos eléctricos en los semiconductores, dispositivos electrónicos, unión P-N, dispositivos electrónicos pasivos, dispositivos electrónicos activos).

c. Circuitos electrónicos analógicos y digitales (circuitos electrónicos de señal, electrónica analógica, electrónica digital, electrónica temporal).

d. Aplicación industrial (Circuitos electrónicos de potencia, circuitos electrónicos de comunicación, sistemas electrónicos de medida y control, sistemas de telecomunicaciones, sistemas informáticos), aspecto que da alcance a la denominación de Ingeniería Electrónica.

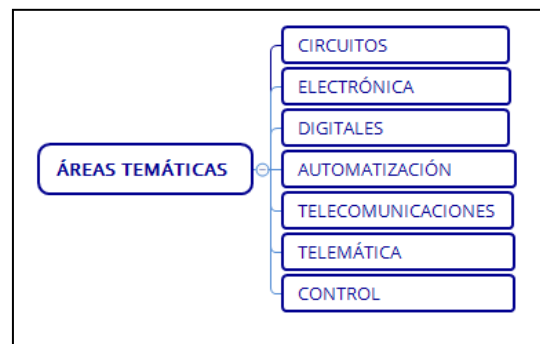
Figura 2. Mapa conceptual de SIAPE de la Electrónica Aplicada para Tecnólogos e Ingenieros



Fuente: Taxonomía de los niveles del aprendizaje de la ingeniería. P. Fernández-Sánchez, A. Salaverria, E. Mandado Pérez.

Para el desarrollo del plan de estudios se han generado estrategias didácticas en el programa basadas en la definición de las áreas temáticas, alineadas a la historia del programa, a los estudios de pertinencia realizados junto a los referentes consultados, motivo por el cual el programa de Ingeniería Electrónica se diagrama a través de dichas áreas, las cuales se ilustran a través de la Figura 3:

Figura 3. Áreas temáticas programa Ingeniería Electrónica



Fuente: Elaboración propia.

La estructura curricular del programa se sustenta en el Enfoque Pedagógico Institucional por medio de una pedagogía problémica y un plan de estudios diseñado a partir de 4 campos de formación que agrupa las áreas del conocimiento y los diferentes cursos de la Ingeniería Electrónica. Para lograr la armonización e implementar la pedagogía en primer lugar se determina el objeto de estudio de la disciplina; en segundo término, se establecen las preguntas que problematizan el saber y, posteriormente, se articulan las áreas del conocimiento del programa.

Para el objeto de estudio se parte de la pregunta problémica del programa que se plantea en los siguientes términos:

¿Cómo se diseñan y se gestionan los procesos de automatización e instrumentación asociados a los proyectos de telemática y telecomunicaciones, los sistemas de potencia y la inclusión de nuevas tecnologías en la solución de situaciones propias del campo electrónico?

De acuerdo con la pregunta del programa se establecen las preguntas problemáticas por las áreas del programa:

CIRCUITOS

¿Cuáles son los formalismos matemáticos (leyes, teoremas), las normas, estrategias y herramientas que permiten diseñar, analizar, simular e implementar el desarrollo de circuitos eléctricos y electrónicos en señales de DC y AC?

ELECTRÓNICA

¿Cómo identificar las características y el comportamiento de los semiconductores en Corriente Directa y Corriente Alterna analizando, diseñando y generando soluciones en aplicaciones de acuerdo con el avance tecnológico de la electrónica?

SISTEMAS DIGITALES

¿Cómo analizar, diseñar e implementar sistemas digitales embebidos que permitan dar soluciones innovadoras a problemáticas de índole científica y tecnológica?

AUTOMATIZACIÓN

¿Cómo implementar e innovar en soluciones que permitan satisfacer las problemáticas presentadas en sistemas automatizados de pequeño, mediano y gran alcance de las industrias manufactureras y de procesos Industriales?

TELECOMUNICACIONES

¿Cómo se identifican, clasifican e implementan los sistemas de telecomunicaciones de acuerdo con las normas y estándares vigentes?

TELEMÁTICA

¿Cómo analizar, diseñar e implementar redes telemáticas con el fin de garantizar el funcionamiento y la seguridad de la información?

CONTROL

¿Cómo diseñar, modelar y simular sistemas de control en procesos que involucren diferentes tipos de fenómenos lineales y no lineales para la toma de decisiones a partir de una respuesta?

III. CASO DE ESTUDIO

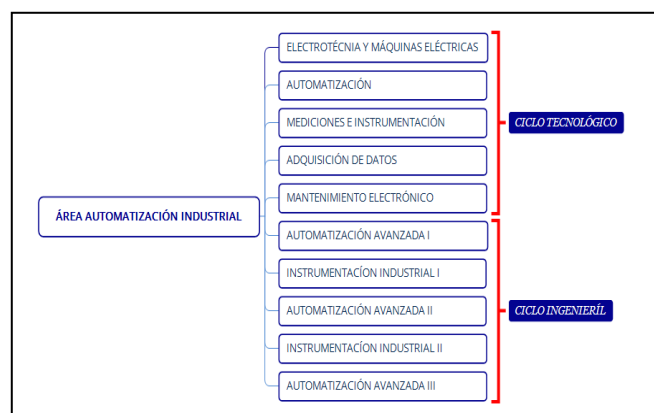
La pedagogía problemática logra interactuar activamente con el modelo constructivista de tal forma que permite el acercamiento del estudiante hacia el objeto de conocimiento, para el caso de estudio aplicado al área de automatización con una fundamentación teórica complementado con un desarrollo práctico de componentes de simulación, medición y

comprobación en tableros o equipos de prueba acordes a las tecnologías actuales en el campo tecnológico e ingenieril.

De acuerdo con la estructura del plan estudio del programa de Ingeniería Electrónica, obedeciendo a la oferta académica institucional, tal como se presentó al inicio de este artículo, se realiza a través de ciclos propedéuticos. El área de Automatización Industrial es transversal y se articula por cursos del ciclo tecnológico y del ciclo ingenieril, cada curso posee una estructura metodológica enmarcada en: el objetivo de aprendizaje, evidencias aceptables, tipos de socialización de procesos y productos, estrategias pedagógicas para desarrollar, tiempos de aprendizaje, dispositivos y criterios de evaluación.

En la Figura 4 se presentan los cursos que hacen parte del área de “Automatización Industrial”, desde la articulación, secuencialidad y complementariedad que exige un ciclo propedéutico, partiendo del nivel tecnológico al ingenieril.

Figura 4. Cursos del área de Automatización Industrial



Fuente: Elaboración propia.

Los cursos se describen a través de escenarios problemáticos los cuales se encuentran articulados con la pregunta del curso, del área y del programa.

Para realizar el proceso formativo tanto en el espacio académico presencial asistido por el profesor en el aula de clases y en los laboratorios, como en el espacio de trabajo independiente asistido igualmente por el profesor en forma de asesorías y tutorías, utilizando las tecnologías de información y las comunicaciones y herramientas web virtuales, el curso dispone de un instrumento guía de acuerdo con la metodología, este instrumento está compuesto por las siguientes secciones:

- Identificación del curso.
- Finalidades del aprendizaje.
- Marco Problemático.
- Alineación pedagógica y evaluativa.
- Bibliografía de soporte contextual del curso.

A continuación, se presenta la alineación problemática con la temática del curso “Automatización Avanzada I” de octavo semestre de Ingeniería Electrónica, se aclara que este curso hace parte de la línea de profundización en Automatización Avanzada, compuesta por los cursos de noveno semestre “Automatización Avanzada II” y décimo semestre “Automatización Avanzada III”.

Identificación del Curso

En la Tabla 1, se presentan las características generales del curso, donde se resalta el número de créditos académicos que por normatividad del MEN (Ministerio de Educación Nacional de Colombia) determina que un crédito académico corresponde a 48 horas de trabajo del estudiante durante el semestre, este trabajo está distribuido en horas con acompañamiento presencia con el profesor y horas de trabajo independiente del estudiante.

Tabla 1. Identificación del curso

NOMBRE DEL CURSO	AUTOMATIZACIÓN AVANZADA I
CAMPO DE FORMACIÓN	APLICADO A LA PROFESIÓN
TIPO (Teórico, Teórico-práctica o práctica)	TEÓRICO - PRÁCTICO
METODOLOGÍA (Presencial y virtual)	PRESENCIAL
CRÉDITOS ACADÉMICOS	3
HORAS DE TRABAJO CON ACOMPAÑAMIENTO TOTALES AL SEMESTRE	64
HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE TOTALES AL SEMESTRE	80

Fuente: Elaboración propia.

Finalidades de enseñanza aprendizaje

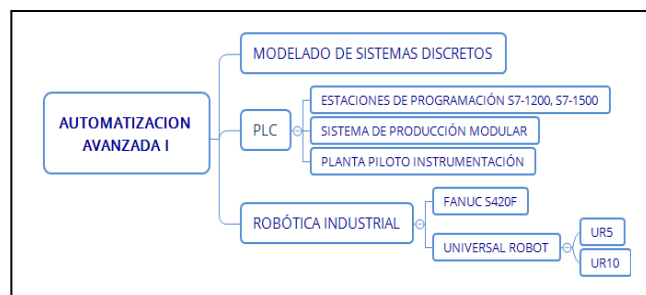
Compuesta por el propósito formativo del curso, los objetivos de aprendizaje y las competencias por desarrollar. Teniendo en cuenta esta información el propósito formativo del curso es: Conocer las aplicaciones de la automatización en los procesos industriales de acuerdo con los nuevos avances tecnológicos.

A partir del propósito formativo se establece el marco problémico del curso en donde se presenta una descripción contextual del curso, así como los contenidos temáticos, los cuales se encuentran distribuidos en temas, subtemas a desarrollar y preguntas que describen los escenarios problémicos.

Los temas a su vez se encuentran divididos por unidades.

En la figura 5 se presentan las temáticas para la generación de las preguntas que se describen en los núcleos problémicos.

Figura 5. Unidades temáticas del curso Automatización Avanzada I



Fuente: Elaboración propia.

Marco problémico

El marco problémico se presenta en el instrumento guía a través de las secciones: Temas por unidad, subtemas a desarrollar, preguntas que describen los escenarios problémicos. Para el caso de estudio “Automatización Avanzada I”, la estructura del plan de este curso se divide en tres unidades que se desarrollan durante el semestre académico, estas unidades son: Unidad 1 Modelado de sistemas discretos, Unidad 2 Controladores Lógicos Programables, Unidad 3 Fundamentación en Robótica Industrial. La Tabla 2 ilustra el modelo de contenidos para la unidad 2.

Tabla 2. Marco problémico unidad 2.

Temas	Subtemas a desarrollar	Preguntas que describen los escenarios problémicos
Unidad 2.	<ul style="list-style-type: none"> Generalidades de los PLC CPU S7-1200 	¿Qué variables se deben tener en cuenta al momento de seleccionar un PLC?
Controladores lógicos programables	<ul style="list-style-type: none"> SETP 7 	¿Qué tipo de factores industriales determinan la selección de un PLC frente a otros sistemas de programación?
	<ul style="list-style-type: none"> GRAFSET 	¿Cuáles son las pautas para editar los modelos físicos y de control procedimental en las herramientas de software industrial para la aplicación del estándar ISA 88?
	<ul style="list-style-type: none"> WIN CC – HMI 	

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de establecer la relación de las preguntas problémicas y las temáticas que se desarrollan en cada una de las unidades se establece la relación de los contenidos teóricos y prácticos, las estrategias didácticas y los recursos educativos utilizados. A continuación se describen los recursos y medios utilizados para cada unidad.

Medios Unidad 1

Descripción, para el análisis de un evento discreto se toma como estrategia el desarrollo de un modelo matemático cuyos resultados son verificable a partir de software.

Medios Unidad 2

PLC: Controlador Lógico Programable

El desarrollo de aplicaciones en automatización en el campo industrial mediante el uso de Controladores Lógicos Programables [6], se deben abordar estas tecnologías de manera explícita y lo más cercano a la realidad, por este motivo el programa ha desarrollado e implementado módulos didácticos portables de PLC S7-1200, pantalla KTP 700 y switch de comunicación SIEMENS, lo que nos permite brindar al estudiante la oportunidad de interactuar con el módulo a un nivel integral.

Este módulo posee un sistema de conexión rápida de componentes de entradas y salidas ya sean de tipo discreto o analógico permitiendo al estudiante no solo realizar ejercicios de simulación si no interactuar con elementos reales de tipo industrial. La Figura 6 presenta un módulo donde se puede observar la pantalla KTP 700, la unidad de procesamiento PLC S7-1200, los módulos de entrada – salida, módulo de comunicaciones, las borneras de conexión y botones de arranque, parada y parada de emergencia.

Figura 6. Foto módulos s7 1200: PLC



Fuente: Elaboración propia.

Se presenta y orienta por parte del profesor todos los contenidos temáticos tanto teóricos como prácticos que hacen parte de esta sección de esta unidad, los cuales permiten a través de la apropiación y aplicación dar respuesta a las preguntas que describen los escenarios problémicos de la unidad 2, cómo son:

¿Qué variables se deben tener en cuenta al momento de seleccionar un PLC?

¿Qué tipo de factores industriales determinan la selección de un PLC frente a otros sistemas de programación?

MPS: Sistema de Producción Modular

El sistema de producción modular (MPS), combina la técnica de fabricación industrial y de producción con un diseño específico de enseñanza permitiendo controlar mediante PLC, actuadores de tipo neumático, eléctrico y diferentes tipos de sensores con señales análogas y discretas [7].

Apropiando y aplicando los contenidos temáticos expuestos por el profesor, el estudiante logra dar respuesta a las preguntas que describen los escenarios problémicos de la unidad 2 cómo:

¿Qué variables se deben tener en cuenta al momento de seleccionar un PLC?

¿Qué tipo de factores industriales determinan la selección de un PLC frente a otros sistemas de programación?

¿Cuáles son las pautas para editar los modelos físicos y de control procedimental en las herramientas de software industrial para la aplicación del estándar ISA 88?

Se describe a continuación el componente más técnico especializado que aporta significativamente al desarrollo de los temas de esta parte de la unidad.

El sistema de producción modular está compuesto por 6 estaciones, ver Figura 7, cada una con elementos de tipo industrial y panel de control:

Estación 1 (Carga), esta estación permite identificar color y material de la pieza para el proceso de ensamble.

Estación 2 (Clasificación), clasifica la pieza según ubicación de perforación para ensamble.

Estación 3 (Mecanizado), realiza un proceso de rectificado de diámetro y profundidad de perforación de la pieza.

Estación 4 (Transporte), traslada la pieza por medio de un brazo de dos ejes, banda transportadora y entrega por gravedad reduciendo el rozamiento por medio de un colchón de aire.

Estación 5 (Montaje), se realiza el ensamble de un buje a la pieza perforada utilizando técnica de vacío.

Estación 6 (Almacenamiento), realiza el almacenaje y apilado de las piezas en conjunto con el ensamble según color y material.

Figura 7: Foto MPS: Sistema de Producción Modular



Fuente: Elaboración propia.

Hay un sistema de PLC individual para cada estación permitiendo la configuración de una red de comunicación entre las estaciones, cuenta además con una interfaz HMI en el último módulo, cada estación se programa aplicando la programación específica que permite obtener la secuencia de producción requerida [8].

Módulos Instrumentación

Los módulos para el desarrollo de prácticas de laboratorio en las áreas de Instrumentación Industrial, Automatización, Control y Comunicaciones Industriales, surgió de la necesidad de poder disponer de una herramienta didáctica y pedagógica que pudiera acercar a los estudiantes de pregrado y posgrado del programa a un entorno industrial más real, ver Figura 8. Los módulos cuentan con la posibilidad de realizar procesos de medición y control de las variables: Temperatura, Presión, Caudal y Nivel. Este desarrollo se describen en detalle en el artículo “*Educational Module For Laboratory Practice In The Areas Of Instrumentation, Automation, Control And Industrial Communications*”, presentado en el Congreso TAAE 2016 en la Universidad de Sevilla [9].

Figura 8: Foto Módulo Instrumentación



Fuente: Elaboración propia.

Se presenta y orienta por parte del profesor todos los contenidos temáticos tanto teóricos como prácticos que hacen parte de esta sección de esta unidad, los cuales permiten a los estudiantes la apropiación y aplicación de conceptos y conocimientos para dar respuesta a las preguntas que describen los escenarios problémicos de la unidad 2 cómo:

¿Qué variables se deben tener en cuenta al momento de seleccionar un PLC?

¿Qué tipo de factores industriales determinan la selección de un PLC frente a otros sistemas de programación?

¿Cuáles son las pautas para editar los modelos físicos y de control procedimental en las herramientas de software industrial para la aplicación del estándar ISA 88?

Medios unidad 3

Robótica Industrial

Se describe a continuación el componente más técnico especializado que aporta significativamente al desarrollo de los temas de esta parte de la unidad, así como en la presentación y orientación por parte del profesor todos los contenidos temáticos tanto teóricos como prácticos que hacen parte de esta sección de esta unidad [10], los cuales permiten en el estudiante a través de la apropiación y aplicación dar respuesta a las preguntas que describen los escenarios problémicos de la unidad 2.

El laboratorio de robótica industrial cuenta un brazo robot de tipo industrial FANUC S420F de 6 GDL y capacidad de carga de 120 Kg dotado de una pinza de amarre exterior y sistema de vacío para transporte de producto. Además, se cuenta con 2 brazos robot colaborativos de UNIVERSAL ROBOTS de 6GDL y capacidad de carga 5 y 10 Kg, dotados de cámara de visión artificial y pinzas de amarre exterior y técnica de vacío, la figura 9 presenta la línea de robots industriales, se resalta al fondo de la imagen el robot

industrial FANUC, la CPU y la banda transportadora, más al frente de la figura se pueden observar los robots industriales tipo colaborativos marca UNIVERSAL.

Figura 9: Foto FANUC -Universal: Robótica Industrial



Fuente: Elaboración propia.

Alineación pedagógica y evaluativa:

Se tiene en cuenta el propósito formativo como eje central del proceso pedagógico, tomando evidencias aceptables que deben hacer los estudiantes para demostrar el logro del propósito, todo esto mediante un ambiente de enseñanza – aprendizaje que identifica la ruta general del curso. En la Tabla 3 se presenta el propósito formativo del curso.

Tabla 3. Propósito formativo

Propósito Formativo	Evidencia aceptable	Ambiente de Enseñanza - Aprendizaje
Formar profesionales en ingeniería electrónica con las competencias necesarias para diagnosticar, diseñar, implementar, supervisar y mantener procesos automatizados.	Identifica, interpreta y relaciona los componentes constitutivos de un proceso industrial.	Presentación de un proyecto, evidenciando las etapas de desarrollo (diseño, simulación, construcción) de un proceso industrial a escala

Fuente: Elaboración propia.

Los objetivos de aprendizaje están enmarcados dentro del propósito formativo del curso diversificando los tipos de socialización del proceso innovando en estrategias pedagógicas y en los tiempos y ritmos de aprendizaje de los estudiantes, evidenciando los resultados de apropiación de conocimiento mediante la aplicación de dispositivos y criterios de evaluación. En las Tablas 4 y 5 se presentan la alineación pedagógica y evaluativa a los objetivos de aprendizaje. Se aclara que en el instrumento guía original que se ha descrito en toda esta sección, son una sola tabla, se presenta como dos tablas básicamente para que el lector las pueda visualizar mejor.

Tabla 4. Objetivos de aprendizaje parte uno

Objetivo de Aprendizaje. OA	Evidencia Aceptable	Tipo de Socialización de Proceso /Producto
Desarrollar en el estudiante la habilidad para diseñar, simular y programar sistemas automatizados a partir del uso de controladores lógicos programables, HMI y robótica industrial	Analiza e Identifica el comportamiento de componentes, modela y verifica en software de simulación sistemas de producción que permitan dar solución a problemas industriales mediante la implementación de procesos automatizados.	Socialización frente a compañeros de clase, feria de emprendimiento y profesor del curso.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Objetivos de aprendizaje parte dos

Estrategias pedagógicas para desarrollar	Tiempo de aprendizaje	Dispositivos y criterios de evaluación
Tutorías: profesor Rol de cátedra: Profesor. Técnicas didácticas: AVA, OVA, Plataforma MOODLE Guías de clase Guías de laboratorio Proyecto Final	Durante el semestre académico, el estudiante desarrolla un proyecto de curso, en el cual se presenta una solución automatizada a escala dando solución a un problema industrial.	Evidencias de desempeño talleres de clase, material multimedia prácticas de laboratorio, material multimedia práctica de laboratorio segundo idioma, parciales por plataforma Moodle y proyecto final de curso

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS

El profesor debe integrar distintas estrategias metodológicas de acuerdo a los objetivos perseguidos en cada tema de un curso, estas metodologías relacionan técnicas y acciones lógicamente organizadas que crean un proceso y orientan a los estudiantes hacia determinados resultados de aprendizaje. En este sentido las estrategia metodológicas utilizadas para el desarrollo de los contenidos curriculares propuestos en fundamentación teórica de “Automatización Avanzada I” comprende la interacción con objetos virtuales de aprendizaje desarrollados por los profesores, talleres de clase aplicando normatividad internacional, por ejemplo estándar ISA 5.1, ISA 88, ISA 101 en el desarrollo de soluciones a problemas presentados en entornos reales de producción propuestos por los estudiantes, en la mejora o implementación en los laboratorios de la Universidad.

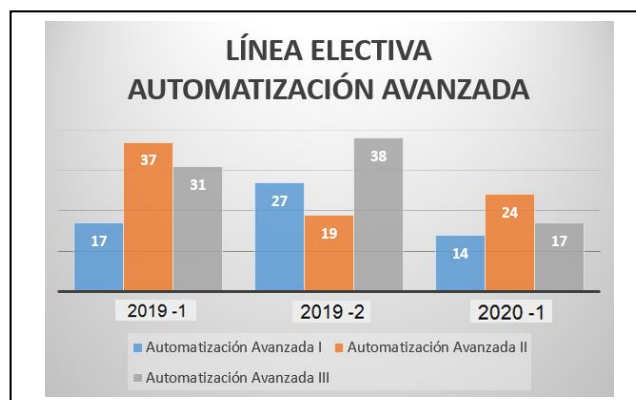
Esta fundamentación teórica se complementa en la parte práctica en el uso de software especializado para simulación, programación y comprobación de resultados en los laboratorios de neumática, electroneumática, PLC, Robótica industrial, Instrumentación y en sistema de producción modular (MPS), teniendo con esto un acercamiento real a los resultados esperados desde el análisis de la problemática propuesta en la estructura metodológica de la clase.

Esta metodología ha llevado a la consecución en algunos casos al desarrollo de proyectos de grado de estudiantes del curso y de la línea de profundización en “Automatización Avanzada”, se destacan los siguientes trabajos:

- Diseño e integración de una línea de producción bajo formalismo de sistemas de eventos discretos en el laboratorio de robótica industrial de la universidad.
- Automatización del sistema de agua y licuado para la preparación de la mezcla de cono enrollado y moldeado.
- Mejora del proceso de automatización y empaque de kits máquina sitma c-905.
- Laboratorio virtual a través de Internet con el robot Kuka LBR IWA 14R820.
- Actualización del sistema de paletizado de cajas de cartón línea 2 Cervecería de Bavaria S.A.

La aplicación de este tipo de estrategias basada en problemas ha permitido una complementariedad y secuencialidad que se ve reflejada en la motivación e interés por parte de los estudiantes, demostrado en la continuidad en la línea electiva de “Automatización Avanzada”, es evidenciable en la Figura 10, en la cual se presenta una continuidad motivada por los estudiantes de los tres cursos que hacen parte de línea de profundización: Automatización Avanzada I, II y III y número de estudiantes promedio de los tres últimos semestres académicos.

Figura 10: Gráfica continuidad línea de profundización



Fuente: Elaboración propia.

Desde el enfoque pedagógico se facilitan los procesos de aprendizaje que integran la teoría, la práctica y la vida de la universidad al contexto social potencializando en el estudiante la autonomía, la creatividad, las habilidades de pensamiento, la construcción de su propio conocimiento y su compromiso con la sociedad.

Desde el modelo constructivista se busca desarrollar las estructuras cognitivas de tipo heteroestructurante, uno enseña

el otro aprende (clase magistral); auto estructurante, uno aprende por si solo (autoaprendizaje) y cooestructurante, se aprende de manera cooperativa (aprendizaje cooperativo y colaborativo). El estudiante es quien construye su propio proceso de conocimiento, indagación, búsqueda de información, planeación del trabajo autónomo, espíritu crítico y reflexivo que lo fundamentan en los conceptos de la investigación científica.

La propuesta y aplicación de esta tipo de estrategias permite encauzar la acción de los profesores como mediadores del aprendizaje; promover la autonomía y el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes; dinamizar el acto educativo desde la praxis pedagógica utilizando diferentes formas metodológicas, promoviendo el aprendizaje a través de pedagogías problémica, estudio de casos y desarrollo de competencias en el manejo de las tecnologías de la información y la comunicación, utilizando la evaluación como elemento mediador del aprendizaje.

V. CONCLUSIONES

La pedagogía problémica desde el modelo constructivista establece que el estudiante desarrolle un pensamiento crítico e investigativo debido a que permite que el estudiante aplique las temáticas de un curso como el de Automatización Avanzada a las problemáticas que se pueden generar desde el perfil profesional como Ingeniero Electrónico, estos procesos pedagógicos articulan la investigación y la proyección social a través de la generación de productos buscando las soluciones a las problemáticas industriales presentadas en el proceso de formación enmarcadas en los objetivos de aprendizaje.

Esta metodología será evaluada de forma continua con el fin de realizar la retroalimentación y consolidar el proceso formativo a través de este tipo de pedagogía.

VI. REFERENCIAS

- [1] Pedagogía problémica.
<https://www.magisterio.com.co/libro/pedagogia-problemica>
- [2] Enfoque pedagógico, 2019.
<https://www.ecci.edu.co/sites/default/files/inline-files/Enfoque%20pedago%CC%81gico%20institucional.pdf>
- [3] Implementation of elective line in advanced automation for electronic Engineering program. A.C. Llanos, L.F. R. Riveros, V.H. B. Tristanco. TAAE 2018.
- [4] Ciclos propedéuticos.
https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-86432_Archivo_pdf.pdf.
- [5] Taxonomía de los niveles del aprendizaje de la ingeniería y su implementación mediante herramientas informáticas. P. Fernández-Sánchez, A. Salaverría, E. Mandado Pérez. TAAE 2012.

- [6] PULIDO, M. (2005). Controladores lógicos. España: Marcombo.
- [7] Automatismos Industriales. BARBADO, J. 2013. México: Alfaomega.
- [8] LEIVA, L. (2005). Diseño y programación con autómatas programables (Tracts in Advanced Robotics) de Peter Corke | 23 mayo 2017.
- [9] Educational Module for Laboratory Practice in the Areas of Instrumentation, Automation, Control and Industrial Communications. , L.F. R. Riveros, V.H. B. Tristanco, A.C. Llanos, J. F. B. Navarro TAAE 2016.
- [10] Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB® Second, Completely Revised, Extended and Updated Edition (Springer Tracts in Advanced Robotics) de Peter Corke | 23 mayo 2017.



Session TS-7A

Digital Systems III

Taller de Desarrollo de Sistemas Electrónicos Basados en Microcontrolador Utilizando la Metodología Aprendizaje-Servicio

Camilo Quintáns Graña
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Vigo
Vigo, España
quintans@uvigo.es

José Fariña Rodríguez
Dept. Tecnología Electrónica
Universidad de Vigo
Vigo, España
jfarina@uvigo.es

Resumen— En las materias de las enseñanzas universitarias se está incluyendo la metodología ApS (Aprendizaje-Servicio) para promover la responsabilidad social universitaria. En este trabajo se presenta un proyecto en el que se desarrolla un taller para el aprendizaje de los microcontroladores. Bajo la premisa de aprender enseñando, alumnos de la asignatura Sistemas Electrónicos Digitales del Grado en Ingeniería Industrial en Electrónica y Automática de una universidad presencial comparten una experiencia ApS con alumnos de otro centro educativo (receptor del servicio), cuyos alumnos tienen un perfil distinto. En este caso, se han elegido como destinatarios los alumnos de los Grados de Ingeniería de un centro universitario con modalidad de educación semipresencial y a distancia.

Palabras clave— Aprendizaje-Servicio, Educación, Educación a Distancia, Electrónica, Microcontroladores.

I. INTRODUCCIÓN

Desde que la enseñanza universitaria incorporó el sistema de competencias como objetivos de aprendizaje a alcanzar por los estudiantes, las denominadas competencias transversales han ido ganando importancia y su aplicación ha cobrado más sentido al considerar la formación integral de los estudiantes no solo como futuros profesionales, si no, también, como futuros ciudadanos involucrados socialmente. En este contexto, en las distintas universidades se está trabajando para institucionalizar el uso de la metodología ApS (Aprendizaje-Servicio) como una de las estrategias docentes dentro del marco de la responsabilidad social universitaria [1].

Aunque existen diversas definiciones, existe un cierto consenso en definir ApS como una metodología de enseñanza-aprendizaje activa y reflexiva, gracias a la cual el alumnado pone en práctica conocimientos de forma voluntaria, y desarrolla habilidades y actitudes mediante la realización de un servicio a la sociedad [2]. Por tanto, esta metodología combina en la misma proporción dos elementos fundamentales, que son: el aprendizaje a través de la experiencia (intencionalidad pedagógica) y el servicio a la sociedad (intencionalidad solidaria). Esta metodología no se debe confundir con otras actividades, como pueden ser el voluntariado (mucho servicio y poco aprendizaje) o las prácticas laborales (mucho aprendizaje y poco servicio).

Habitualmente se realizan proyectos ApS en el entorno de las enseñanzas básicas y medias [4], sobre todo por medio de acciones solidarias [4], pero no tanto en los niveles de la educación universitaria. Incluir la metodología ApS en el currículum universitario puede ser relativamente fácil en cuanto a la prestación de un servicio, ya que los alumnos tienen una cualificación alta y están preparados para prestar ayuda a la comunidad de muy distintas formas. Sin embargo,

la parte en la que tienen que aprender es más difícil de realizar. Por ello, en muchas ocasiones los proyectos ApS se relegan al entorno de los Trabajos de Fin de Grado o de Máster (TFG o TFM) [5]. En este caso, se suelen realizar trabajos con un alto grado de sofisticación en los que los alumnos ponen en práctica muchos conocimientos ya adquiridos en las asignaturas, y también otros nuevos. Además, en el proceso de desarrollo del trabajo, el mayor contacto se suele tener con el tutor, ya que las tareas que implican estos trabajos están guiadas por él. De este modo, los aprendizajes del proyecto relacionados directamente con la prestación del servicio suelen quedar relegados a la parte del peticionario, donde se hacen las especificaciones de lo que se necesita a partir de los requisitos que se establecen con la entidad receptora del servicio. Además, estaría las fases de depuración, prueba y puesta en marcha que, también, se harían en contacto con los receptores del servicio. Bajo este punto de vista, los proyectos ApS de ingeniería suelen ser TFG o TFM orientados a la realización de un producto.

Por tanto, queda como reto incorporar la metodología ApS dentro del currículum propio de las asignaturas troncales de los grados universitarios. Para lo cual, es necesario identificar necesidades en el entorno que impliquen la puesta en práctica de contenidos propios de las asignaturas y que hagan que los alumnos los aprendan. Debido a las dificultades que esto implica, se ha decidido optar por realizar un proyecto del tipo aprender enseñando.

Concretamente, en este trabajo se presenta un proyecto ApS de Electrónica Aplicada que consiste en realizar un taller de desarrollo de sistemas electrónicos basados en microcontrolador, que se realiza dentro de la materia SED (Sistemas Electrónicos Digitales) de 4º curso del Grado en Ingeniería Industrial en Electrónica y Automática de la Universidad de Vigo.

Para llevar a la práctica el proyecto se ha identificado una necesidad en el entorno en la que las personas receptoras del servicio deben aprender contenidos similares de los que tienen que aprender los alumnos que proporcionan el servicio. Concretamente se identificaron como destinatarios del servicio a alumnos de la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia) que cursan estudios de ingeniería en el CA (Centro Asociado) de Pontevedra, el cual está en el entorno de la escuela de la universidad presencial en la que realizan los mismos estudios los alumnos que prestan el servicio.

Aplicando la metodología ApS, en este proyecto los alumnos que prestan el servicio pueden poner en valor sus conocimientos anteriores, afianzarlos y aprender otros nuevos

cuando se los transmiten a otras personas de diferentes ideas y perfiles. En este caso, lo hacen interactuando con alumnos de otra universidad, que, si bien comparten contenidos, las metodologías de enseñanza-aprendizaje y los perfiles personales son muy diferentes. La universidad que recibe el servicio tiene una modalidad de educación a distancia, mientras que la que lo ofrece la tiene presencial. Y los alumnos que reciben el servicio ya están inmersos en el mercado laboral y tienen una media de edad que dobla a la de los alumnos que prestan el servicio.

II. CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO ApS

Para explicar cómo se configura el proyecto, en esta sección se explica, primero, cuál es el perfil de los alumnos receptores del servicio, del que se deriva la necesidad detectada en el entorno. Después, se detallan los objetivos y requisitos que se deben cumplir para encajar la actividad en la metodología ApS. A continuación, se justifica cómo la prestación del servicio encaja dentro de las competencias de la materia que cursan los alumnos que prestan el servicio. Y, finalmente, se puede ver como la actividad encaja, también, dentro de los objetivos generales de la agenda 2030.

A. Características del Centro que recibe el servicio

El CA de la UNED en Pontevedra cumple la importante misión de acercar la universidad a toda la población independientemente de su situación personal, geográfica, de edad, profesional, etc. En este sentido, las actividades complementarias de formación cumplen una parte importante de esta misión.

En cuanto a las enseñanzas formales, por ejemplo, de los grados de las titulaciones técnicas, la mayor parte de la dedicación del alumno lo constituye su trabajo autónomo, en el que estudia los materiales didácticos preparados para cada asignatura y puede complementarlos realizando, por ejemplo, trabajos de simulación por ordenador. Además, dispone de un apoyo de atención personalizada de tutorías, bien sea con el equipo docente ubicado en la Sede Central o con los tutores de los Centros Asociados. Este apoyo puede ser a distancia, o de forma presencial, sobre todo en los propios Centros Asociados, que disponen de tutorías presenciales para un gran número de asignaturas, en su mayor parte, de primero y segundo cursos. La otra parte presencial en la Sede Central se puede dar en el periodo de realización de prácticas de laboratorio, pero no se dan en todas las asignaturas. Por tanto, la mayor carga presencial se tiene en los primeros cursos y se desempeña en los Centros Asociados, tanto para las tutorías como para las prácticas de laboratorio.

B. Necesidad detectada en el centro que recibe el servicio

Debido a las características especiales de la enseñanza a distancia y semipresencial, los estudiantes de los grados de ingeniería hacen un esfuerzo extra debido a la dificultad de aprendizaje propio de las enseñanzas técnicas y que requieren de una parte práctica de laboratorio que no siempre se puede atender de la misma forma que en las universidades presenciales. Por ejemplo, las actividades prácticas presenciales en los centros asociados suelen limitarse a los dos primeros cursos de carrera, en los demás, los estudiantes deben acudir a la Sede Central de la UNED.

En concreto en los grados de ingeniería del ámbito eléctrico y electrónico, las asignaturas propias del área de Tecnología Electrónica se imparten en tercer y cuarto curso, siendo las de éste último de carácter optativo en su mayoría.

Por ello, el apoyo en los Centros Asociados suele ser muy reducido. La parte práctica de estas asignaturas se suele realizar mediante simulación, o mediante laboratorios remotos [6], y, solo en algún caso, también se realizan prácticas presenciales en los laboratorios de la Sede Central. En concreto, en lo que respecta a la enseñanza de los circuitos microcontroladores, los alumnos cursan varias asignaturas con contenidos de electrónica digital, y una de microprocesadores y microcontroladores, pero no incluye prácticas presenciales que utilicen un hardware.

Debido a estas características, se ha considerado que los estudiantes, por un lado, tienen suficientes conocimientos básicos de electrónica y, por otro, que encontrarían útil la realización de un taller de desarrollo de aplicaciones con microcontroladores. Este taller debe ser práctico, presencial y debe incluir montajes de circuitos reales con aplicación directa de los conocimientos, también, de las áreas afines, como son los circuitos eléctricos y los sistemas de control.

C. Objetivos y requisitos del proyecto ApS

A continuación, se describe cómo encajan los objetivos de la actividad dentro de los requisitos que debe cumplir como metodología ApS [2]:

1) *Tiene que existir una necesidad real en el entorno:* los alumnos receptores de otro centro educativo reciben una formación complementaria en su curriculum.

2) *Tiene que haber un servicio que dé como resultado un aprendizaje recogido en la guía de la materia:* enseñar lo “supuestamente” aprendido facilita el aprendizaje. Es decir, el alumno cree tener conocimientos básicos ya consolidados, pero, al tomar el rol de docente, reconoce que no es así, y le surge la necesidad de poner blanco sobre negro para de verdad reconocer hasta dónde puede llegar. De este auto-reconocimiento surge un verdadero aprendizaje. Y con respecto a los conocimientos que debe adquirir en el proceso del desarrollo del propio proyecto que se plantea en la actividad ApS, la labor de acompañamiento refuerza la responsabilidad de alcanzar una comprensión más honesta, puesto que el alumno se ve recompensado cuando demuestra sus capacidades ayudando a los demás. Como consecuencia, la mejora de la autoestima ayuda a afianzar los conocimientos nuevos.

3) *Se requiere la participación activa por parte del alumnado:* el profesor actúa orientando las tareas de preparación de las actividades. Por tanto, debe velar para conseguir una implicación eficaz del alumnado, de forma que los éxitos o fracasos que consiga los haga suyos. Esto es importante porque, en general, los resultados de la actividad ApS dependen de la implicación emocional que inevitablemente se desarrolla en paralelo con la actividad.

4) *Exige una cuidadosa organización:* Se debe establecer un protocolo y unas normas de conducta (formación previa) que ayude a los alumnos a desarrollar las actividades con otras personas. Esto significa que el alumno, además de sentirse con libertad a la hora de exhibir sus capacidades y poner en valor su trabajo, debe percibir que está amparado por la estructura propia de la actividad. Esto le supone confianza y seguridad.

5) *Necesidad de reflexión sobre la experiencia:* los alumnos deben conseguir, además de unos resultados de

aprendizaje, unas conclusiones, las cuales afianzan los resultados, los concreta y simplifica, por lo que sirven de resumen de la actividad.

6) *Modo de relación igualitario entre las personas que prestan el servicio y las que lo reciben*: Ambas partes hacen un intercambio: los alumnos implicados en esta metodología deben tener claro su rol.

7) *Se requiere trabajo en red*: las actividades crearán una red de trabajo entre equipos que prestan el servicio y los que lo reciben, y entre ellos mismos.

8) *Los aprendizajes tienen que ser significativos*: los equipos proveedores deben aplicar los conocimientos previos y aprender otros nuevos a partir de las situaciones reales provocadas por su puesta en práctica con los equipos receptores.

D. Contribución del servicio a la adquisición de competencias

Además de los contenidos tecnológicos, la materia de los alumnos que proporcionan el servicio debe tener asignadas la formación en competencias generales y transversales de la titulación que encajan con la metodología ApS.

Por tanto, es importante para el proyecto ApS justificar cómo el servicio contribuye a la adquisición de competencias de la materia que cursan los estudiantes que prestan el servicio. A continuación, se señalan los puntos clave de las competencias que tiene la materia de SED, desde la que se presta el servicio, y se justifica su relevancia en el proyecto.

Competencia general 3: Conocimiento en materias básicas y tecnológicas que dote a los estudiantes de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones y los capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías.

Justificación: Los estudiantes que prestan el servicio tienen que adaptar los contenidos de SED a un perfil de estudiantes distinto. A pesar de estar haciendo unos estudios con una parte común muy importante, deben adaptarse a una metodología nueva, y a un perfil de alumno con una formación profesional previa en la mayoría de los casos, una mayor experiencia vital, etc.

Competencia general 4: Capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y capacidad para comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Electrónica Industrial e Automática de la ingeniería industrial.

Justificación: Proponer una actividad entre iguales es un reto para los alumnos, ya que rompe con la clásica relación asimétrica entre docente y discente. Este reto, sumado al hecho de que los alumnos desarrollan los materiales didácticos de las actividades, provoca necesariamente una respuesta creativa y razonada. También es relevante el hecho de que se establece una relación de confianza entre perfiles distintos de estudiantes pero que comparten objetivos comunes, lo cual ayuda a potenciar las habilidades comunicativas.

Competencia específica 21: Conocimiento de los fundamentos y aplicaciones de la electrónica digital y microprocesadores.

Justificación: Los alumnos de cuarto ya cuentan con unos conocimientos previos fuertes en la materia, ya que tienen una asignatura previa de 9 ECTS en tercero, esto facilita el aprendizaje significativo, ya que aplicarán muchos

conocimientos previos a situaciones más complejas (a nivel de sistema).

Competencia específica 24: Capacidad para diseñar sistemas electrónicos analógicos, digitales y de potencia.

Justificación: los alumnos desarrollarán un prototipo de sistema electrónico complejo que incorporará elementos de esos ámbitos.

Competencia transversal 2: Resolución de problemas.

Justificación: Para el desarrollo del taller es necesario que resuelvan un caso práctico, ya que se utiliza la metodología de aprendizaje basada en proyectos. En este caso, además de preparar el desarrollo de los contenidos para lograr el objetivo de que el prototipo alcanzado sea operativo, deben de considerar que esos contenidos son para enseñar a otros alumnos. Por tanto, el objetivo de que funcione el prototipo ya no es suyo, sino que es para los alumnos que reciben el servicio. Esto conlleva una responsabilidad e implicación que va más allá de resolver problemas puntuales en el proceso de desarrollo de las tareas.

Competencia transversal 9: Aplicar conocimientos.

Justificación: esta competencia se justifica con la específica 21. También es importante señalar que es una materia terminal.

Competencia transversal 14: Creatividad.

Justificación: el proyecto que se propone es semi-guiado, por lo que combina una parte estructurada previamente con otra que es variable, donde el alumno puede aplicar alternativas nuevas. Esto último puede resultar enriquecida al combinarse con la visión más madura del perfil del estudiante que recibe el servicio.

Competencia transversal 17: Trabajo en equipo.

Justificación: Esta competencia se ejercita doblemente, ya que se forman pequeños grupos de trabajo tanto en las fases de preparación como de ejecución. Primero, entre los profesores y los estudiantes que proporcionan el servicio. Y, después, entre los estudiantes que proporcionan el servicio y los que lo reciben.

E. Objetivos 2030

En general todas las instituciones de enseñanza están involucradas en los objetivos globales de la agenda 2030, por ello, se debe identificar cuáles de esos objetivos se relacionan con los resultados de aprendizaje que se derivan de las competencias indicadas anteriormente. En este caso se han identificado los siguientes tres objetivos de la agenda 2030:

4.- Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos.

8.- Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.

9.- Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

III. DESARROLLO DEL PROYECTO APS

El proyecto ApS se ha desarrollado siguiendo las siguientes fases:

1) *Formación en la metodología ApS del profesorado encargado*: el objetivo es entender bien en qué consiste la metodología y en cómo se puede llevar a la práctica. Es importante identificar el rol de los actores de las distintas partes implicadas: entidad receptora del servicio y destinatarios de la misma, alumnos que realizan la actividad y equipo docente. En este caso la Vicerrectoría de Responsabilidad Social, Internacionalización y Cooperación de la Universidad de Vigo ha llevado a cabo las acciones formativas para el profesorado.

2) *Elección del tipo de actividad, asignatura en la que encaja y receptor del servicio*: se trata de identificar necesidades en el entorno y oportunidades de aprendizaje para los alumnos. En esta fase se deben hacer reuniones con los representantes de la entidad para que el diseño contemple en paralelo lo que se desarrolla en el centro origen y en el centro receptor.

3) *Diseño de la actividad a realizar*. Desde el punto de vista de los docentes, es importante no perder de vista en esta fase que los alumnos son los que desarrollarán la actividad, y que el papel del docente es el de apoyar al alumno en las tareas antes de las sesiones presenciales. En este sentido, se debe insistir en que la parte de trabajo preparatorio también la deben de realizar los alumnos.

4) *Integración de la nueva metodología en la guía docente de la asignatura*: Al igual que cualquier otra metodología, se debe asociar con unos objetivos de aprendizaje y con un porcentaje de la evaluación.

5) *Presentación de la actividad a los alumnos*: Explicar brevemente en qué consiste la actividad, donde se realizará, cuando y qué ventajas tiene para los alumnos. Se debe abrir un plazo para presentarse los alumnos voluntariamente.

En este punto ya se debe saber dónde y quienes realizarán la actividad, y, sobre todo, cuando. Es importante que, una vez los alumnos se hayan presentado y el diseño de la actividad se haya perfilado, se tenga un calendario claro con las responsabilidades de cada uno.

6) *Fase de publicidad en el Centro receptor*: se debe publicitar en el centro receptor del servicio para que los alumnos se puedan inscribir en el taller. En este punto es imprescindible el apoyo del personal administrativo del centro receptor.

7) *Reunión con los participantes en el Centro que presta el servicio*: se debe abordar la preparación de las sesiones presenciales, es decir, el aula que se va a usar, los medios necesarios, etc.

Finalmente, se deben tener en cuenta dos aspectos importantes. El primero es el seguro escolar, el cual debe cubrir las contingencias que puedan surgir fuera del centro. El segundo es la posibilidad de tener que firmar un contrato de colaboración entre las dos entidades.

En este punto, ya está todo preparado para acoger la actividad, solo falta desarrollarla y ensayarla, como se verá en la siguiente sección.

IV. DESARROLLO DEL TALLER DE MICROCONTROLADORES

A. Descripción general

El taller se enmarca dentro de las actividades de laboratorio de la asignatura SED, en las cuales se realizan dos

proyectos semi-guiados, uno basado en microcontrolador y otro en FPGA [7]. En este caso, se oferta la actividad con carácter voluntario para un grupo de, aproximadamente, cinco estudiantes, como máximo, los cuales pueden compensar un total de 26 horas de las prácticas de laboratorio (8 presenciales y 18 de trabajo autónomo) realizando el taller que sigue la metodología ApS. Además, se debe concretar a qué prácticas corresponden esa dedicación. En este caso, se corresponde con los contenidos técnicos de las prácticas dos a la cinco del curriculum que siguen todos los alumnos. Finalmente, se indica cómo se reparten esas horas dentro de las actividades del taller ApS. En este caso, el taller se desarrolla en dos sesiones presenciales de cuatro horas cada una en el laboratorio y/o aula de informática del centro que recibe el servicio.

- En la primera, se aborda la introducción a la arquitectura del microcontrolador y su juego de instrucciones, se introduce el entorno de programación y se trabaja con dos ejemplos. Uno en el que se simula y depura un algoritmo sencillo. Y otro en el que se adquiere una señal analógica generada desde un potenciómetro.
- En la segunda sesión, se trabaja con un motor de corriente continua con el objetivo de controlar su velocidad por medio de un bucle cerrado de control. En esta parte se realizan módulos nuevos de programa y se utilizan otros ya probados que se integran en el sistema complejo. Por tanto, se sigue una metodología incremental.

Las actividades a realizar por parte del profesorado son:

- Seguimiento de la preparación de la documentación asociada a cada sesión y supervisión de los materiales y recursos necesarios.
- Diseño de los mecanismos de evaluación.
- Orientación de los alumnos sobre las características especiales de la actividad.
- Acompañamiento en el proceso.
- Análisis de los resultados y conclusiones.

Las actividades a realizar por parte del alumnado que proporciona el servicio son:

- Propuesta de tareas adaptadas al ámbito y duración de la actividad.
- Adaptación y elaboración de los contenidos de la documentación de las tareas planificadas para cada sesión.
- Seguimiento de las sesiones y resolución de dudas y cuestiones. Generación de informes de resultados.

B. Evaluación

Es importante detallar cómo es la evaluación de los estudiantes que participan en la actividad ApS. La evaluación de SED se divide en una parte de prácticas y otra de teoría. A su vez, éstas se dividen en una parte de microcontrolador y otra de FPGA. En este caso se ha establecido que todos los alumnos tengan el mismo proceso de evaluación de teoría, y solo en la parte práctica de microcontroladores, los alumnos que participan en la actividad ApS tienen una evaluación distinta. En el caso de los alumnos de la actividad ApS se les

evalúa con un seguimiento de las tareas para preparar las sesiones del taller. Y en el caso de los demás se les evalúa a través del seguimiento de las tareas realizadas en el laboratorio y del informe de resultados que presentan.

C. Contenidos del taller y secuenciación

En general se estudia el funcionamiento práctico de distintos periféricos del microcontrolador PIC18F25k20, además del entorno de desarrollo y del lenguaje ensamblador. Como objetivo global que sirva para desarrollar las tareas se plantea regular la velocidad angular de un motor de cc con un sistema de control digital en bucle cerrado.

En la Fig. 1 se muestra una fotografía del montaje real del sistema y en la Fig. 2 se puede su diagrama de bloques. Los principales elementos que forman el sistema son, además del microcontrolador: un visualizador alfanumérico para visualizar las variables del sistema, por ejemplo, la consigna de velocidad y la velocidad real; un potenciómetro a través del cual se introduce la consigna del sistema; un sensor de barrera óptico para medir la velocidad de giro contando los pulsos por unidad de tiempo; y, por último, un circuito amplificador para acoplar la salida de control del microcontrolador al motor, el cual tiene un rango de funcionamiento de 12 V y 0.5 A, y 127 vueltas por segundo.

Para los alumnos receptores del servicio, el taller se desarrolla en tres semanas. Es importante seleccionar las fechas de forma que la actividad encaje con las demás actividades académica de los alumnos receptores del servicio. En la primera se les facilitan los materiales para preparar la primera sesión presencial, que se realiza en la segunda semana. A principios de la tercera semana se les facilita los siguientes materiales para preparar la segunda sesión presencial. Por ello, se han elegido las tardes de los viernes para las sesiones presenciales, así, lo lunes se les envían los materiales. A continuación, se detallan los contenidos de las dos sesiones presenciales.

1) Sesión 1: (4 horas, semana 1)

a) *Introducción a la arquitectura del microcontrolador:* Diagrama de bloques básico de un microcontrolador con arquitectura Harvard; Diagrama de bloques del microcontrolador PIC18F45k20; Diagrama de bloques de la memoria de programa y de datos; Instrucciones básicas.

b) *Introducción al entorno de programación:* Ejemplo de programa y depuración con simulador. (parte I)

c) *Introducción a la placa de desarrollo:* Esquemas y layout de la placa; Los puertos de E/S (LEDs y pulsador); Inicialización de los puertos, utilización del pulsador; Ejemplo de programa y depuración por hardware. (parte II)

d) *Funcionamiento del convertidor digital-analógico:* Ejemplo 1: Potenciometro->ADC->LEDs; Ejemplo 2: inicialización del I2C y Display. Representación de la consigna en la pantalla. Conversión a BCD.

2) Sesión 2: (4 horas, semana 2)

a) *Actuación sobre un motor de cc, programación del módulo PWM y montaje del driver:* Estructura y funcionamiento del módulo PWM; Rutina de inicialización del PWM; Montaje del hardware.

b) *Programación de interrupciones:* Esquema general de las fuentes de interrupción; Ejemplo con interrupción por el temporizador TMR3 y activación de los LEDs a 1 Hz; Preparar rutina de inicialización del temporizador.

c) *Medida de velocidad con sensor óptico de barrera y contador:* Montaje y comprobación con osciloscopio; Preparar rutina de inicialización del contador.

d) *Bucle de control PI: Diagrama de flujo y código de la rutina; Programa completo:* terminar la rutina de interrupción con las llamadas a todas las subrutinas.

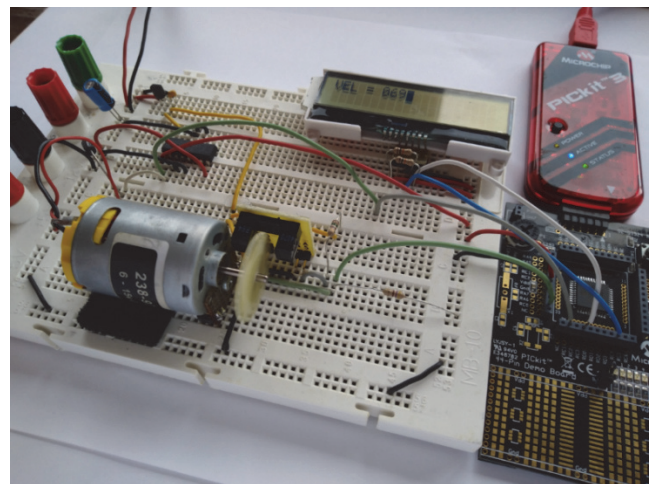


Fig. 1. Fotografía general del montaje final del sistema electrónico de control discreto de velocidad.

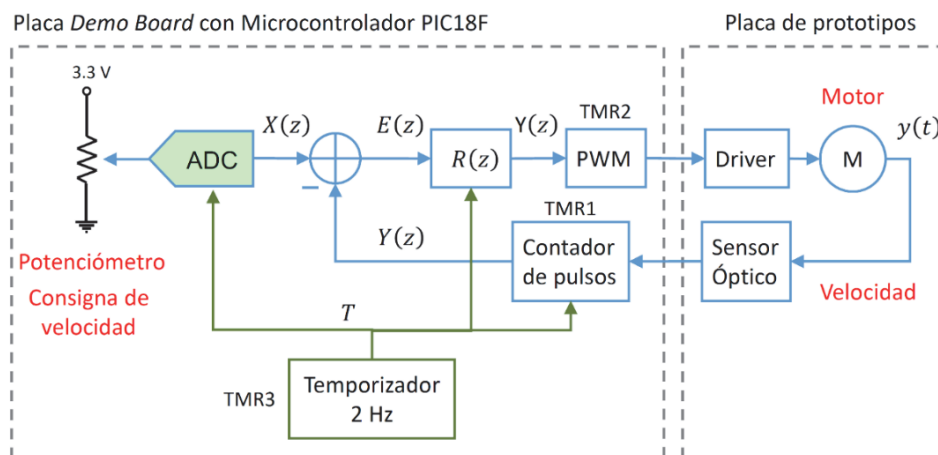


Fig. 2. Diagrama general del sistema discreto de control de velocidad.

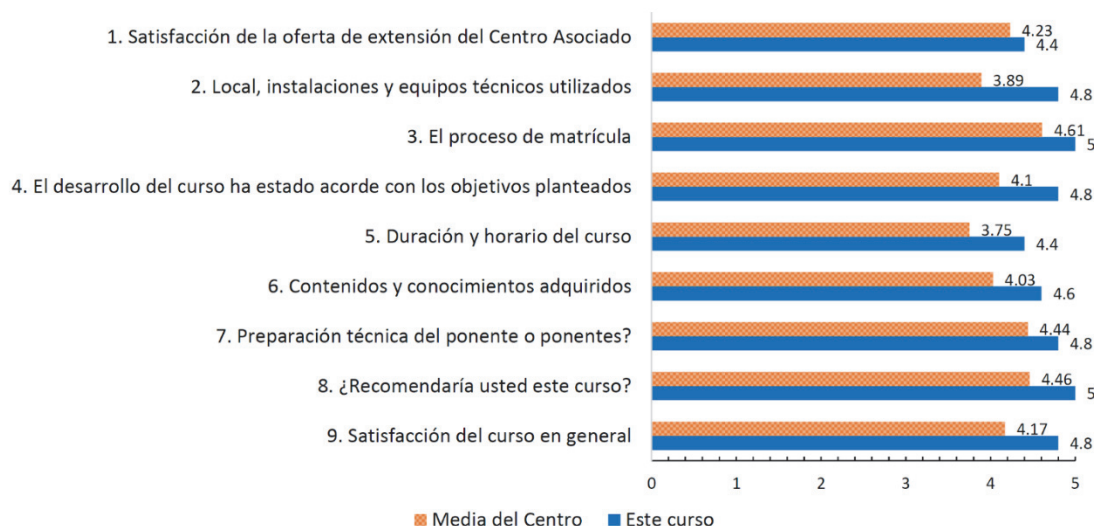


Fig. 3. Resultados de la encuesta de satisfacción realizada por el Centro receptor a los alumnos receptores del servicio.

V. RESULTADOS

Las actividades enmarcadas en el taller se realizaron con normalidad, tal y como se habían programado. Al terminar la actividad el Centro pasó a los alumnos una encuesta igual que a las demás actividades que se realizan en él. La Fig. 3 muestra los resultados de dicha encuesta, en un baremo de 0 a 5, los cuales se presentan en comparación con la media de los demás cursos que se realizan en el Centro durante el mismo año académico. A la vista de los resultados, se puede decir que, en general, el taller ha sido valorado positivamente con una nota por encima de la media.

En la pregunta 2 hay bastante diferencia entre la valoración del taller y la media del Centro, a pesar de que las aulas y equipamientos generales suelen ser los mismos para todas las actividades. Esta diferencia se puede deber a los materiales específicos llevados exprofeso (placa de desarrollo, placa de prototipos, etc.), además de la instrumentación que se trasladó desde el laboratorio (osciloscopio digital, polímetro, etc.). Por tanto, se podría decir que la satisfacción con los materiales preparados específicamente para el taller ha sido alta.

Por otro lado, caben destacar: la valoración positiva de los conocimientos adquiridos, el grado de desempeño de los objetivos planteados y el hecho de que todos recomendarían realizar el taller.

Además, desde la perspectiva de la metodología ApS, tiene especial relevancia la pregunta 7, la cual revela que los alumnos que han recibido el servicio califican de muy preparados a los ponentes, los alumnos que proporcionan el servicio. Esto significa que el objetivo de que los alumnos hayan aprendido con la actividad ApS se ha cumplido, ya que han realizado las tareas de enseñar de forma competente.

Finalmente, en la Tabla I se muestra un resumen de los resultados académicos de los alumnos que se presentaron a la evaluación.

En la fila 1 se comparan los resultados de los alumnos evaluados con la actividad ApS con lo de los alumnos que hicieron las actividades normales de laboratorio. Y en la fila 2, también se comparan los resultados de los dos grupos de alumnos por separado, aunque, en este caso, han realizado las mismas actividades y han tenido la misma forma de evaluación. Se puede concluir que el perfil de los alumnos

voluntarios es más alto que los del grupo, porque han mantenido una diferencia positiva en las notas.

También se observa que la nota media en la evaluación final, así como el índice de aprobados sobre presentados es muy superior en los alumnos voluntarios que presentaron el servicio.

Se puede deducir que, al tratarse de una actividad voluntaria, en general, se apuntaron alumnos con un perfil bueno, en el sentido de que llevaban los estudios al día. Por tanto, se podría decir que los alumnos asumieron con responsabilidad el reto de, no solo aprender los contenidos, si no, también, el de ser capaces de enseñárselos a los demás.

TABLA I. RESULTADOS DE LOS ESTUDIANTES PRESENTADOS A LA EVALUACIÓN

	Notas obtenidas en la parte práctica (filas 1 y 2) y evaluación global (filas 3 y 4)	Estudiantes que prestaron el servicio	Estudiantes que no prestaron el servicio	Todos los estudiantes del grupo
1	Nota media bloque μ C	10	8.4	8.8
2	Nota media bloque FPGA	9.8	8.7	8.9
3	Aprobados	100%	33%	53%
4	Nota media de la evaluación final	7.3	4.8	5.2

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la configuración y el desarrollo de una actividad educativa que utiliza la metodología Aprendizaje-Servicio. En esta actividad los alumnos de Sistemas Electrónicos Digitales de 4º curso del Grado en Ingeniería Industrial en Electrónica y Automática han prestado un servicio realizando un taller de desarrollo de sistemas electrónicos basados en microcontrolador. Los receptores del servicio han sido alumnos de otra universidad que tienen una modalidad educativa a distancia y semipresencial y, por tanto, aunque comparten contenidos, tanto las metodologías de enseñanza-aprendizaje como los perfiles personales de los estudiantes son muy diferentes.

En general se puede concluir que se han alcanzado los objetivos del trabajo. En el propio contenido técnico del desarrollo del proyecto se ha seguido el programa establecido. La evaluación recibida de los alumnos receptores del servicio ha sido positiva, incluso ha estado por encima de la media de otras actividades realizadas en el centro. Y los resultados académicos de los alumnos voluntarios que han prestado el servicio también están por encima de la media del global de la asignatura.

A continuación, se incluyen algunas de las reflexiones extraídas de esta experiencia.

A través del desarrollo del proyecto, los alumnos han tomado conciencia de que cuando se preparan bien las cosas los resultados acompañan y que cuando son personas las involucradas, aún es más importante la realimentación positiva que se recibe del resultado del trabajo realizado.

Enseñar y aprender con alumnos de otra edad y experiencia hace que cambie la perspectiva de lo que significa el conocimiento, que se vuelve más atemporal, sin plazos, y con un sentido más universal en el que el intercambio con personas diferentes es la base para el enriquecimiento personal y profesional.

Estar en la universidad y relacionarse con personas de otras instituciones prestando un servicio hace que los alumnos amplíen la perspectiva en su horizonte del día a día, ya que toman conciencia de que su esfuerzo sirve como preparación previa para ejercer su profesión.

Para finalizar, decir que los alumnos han tomado conciencia de que el esfuerzo ayuda a conseguir resultados que de otra manera sería imposible y de que se aprende de verdad cuando se es capaz de enseñar y, así, conseguir que otras personas aprendan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar, en primer lugar, su gratitud a la Vicerrectoría de Responsabilidad Social, Internacionalización y Cooperación de la Universidad de Vigo

por promover la creación de proyectos ApS y llevar a cabo las acciones necesarias para formar al profesorado en esta metodología.

En segundo lugar, también desean agradecer la disponibilidad y ayuda prestada por el Centro Asociado de la UNED en Pontevedra, receptor del servicio, para desarrollar la actividad ApS.

Por último, pero no menos importante, desean expresar su gratitud a los alumnos que de forma voluntaria desarrollaron la actividad para prestar el servicio.

REFERENCIAS

- [1] CRUE/Comisión de Sostenibilidad, "Institucionalización del Aprendizaje-Servicio como estrategia docente dentro del marco de la Responsabilidad Social Universitaria para la promoción de la Sostenibilidad en la Universidad," León, 2015, [En línea]. Disponible: <https://www.crue.org/Documentos%20compartidos/Recomendaciones%20y%20criterios%20tecnicos/2.%20APROBADA%20INSTITUCIONALIZACION%20ApS.pdf>
- [2] Puig, J.M.: Batlle, R.: Bosch, C. E Palos, J. (2007): Aprendizaje servicio. Educar para la ciudadanía. Barcelona: Octaedro.
- [3] Programa ARCE - Proyecto DOS MARES, "Guía para el Asesoramiento de Proyectos de Aprendizaje-Servicio," [En línea]. Disponible: <http://www.zerbikas.es/producto/guia-para-el-asesoramiento-de-proyectos-de-aprendizaje-servicio/>
- [4] J. María Puig, Xus Martín and Roser Batlle, Guías zerbikas 1, "Cómo iniciar un proyecto de aprendizaje y servicio solidario," Centro Promotor del Aprendizaje y Servicio Solidario en Euskadi, [En línea]. Disponible: <http://www.zerbikas.es/wp-content/uploads/2015/07/1.pdf>
- [5] I. Plaza, C. Medrano, R. Igual, A. Serrano, E. Sainz y M. Ubé, "Aprendizaje-servicio como innovación estratégica en la enseñanza de la electrónica," Actas del XIII Congreso en Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, pp. 542-547, La Laguna, junio, 2018.
- [6] Aitor Villar-Martínez, Luis Rodríguez-Gil, Ignacio Angulo, Pablo Orduña, Javier García-Zubía y Diego López-De-Ipiña, "Improving the Scalability and Replicability of Embedded Systems Remote Laboratories Through a Cost-Effective Architecture", IEEE Access, vol. 7, 2019.
- [7] C. Quintáns, J. Fariña y J.J. Rodríguez-Andina, "Hands-On Learning of Digital Systems Through Semi-Guided Projects," IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 12, pp. 132-140, agosto, 2017.

Asistencia a clase y rendimiento académico en la asignatura Electrónica Digital

Rafael de Jesús Navas González
Departamento de Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, España
rjnavas@uma.es

Resumen— En este trabajo se presentan y analizan los datos de asistencia a clase y los resultados académicos recogidos durante tres cursos consecutivos de impartición de la asignatura de Electrónica Digital. En primer lugar, cabe destacar que las pautas de asistencia a clase se repiten en cada uno de los cursos considerados, mostrando dos características claras: (1) en ningún momento la asistencia supera el 80% de los estudiantes matriculados, y (2) experimenta un claro descenso a medida que avanza el semestre. Por otra parte, aunque no pueda establecerse que la asistencia a clase garantiza el éxito en la asignatura a título individual, si parece clara una correlación entre éxito en la asignatura y asistencia regular y/o frecuente a clase. Dada las correlaciones encontradas, un posterior trabajo debería ir en la línea de investigar las razones del absentismo, en sus dos vertientes, y en la propuesta de acciones que fomenten la asistencia y la participación activa en clase.

Palabras claves— *Docencia en electrónica, absentismo universitario, acción tutorial.*

I. INTRODUCCION

Este trabajo se enmarca en el proyecto de innovación educativa PIE130-17, cuyos objetivos, metodología y principales resultados fueron presentados en TAEE2016 y TAEE2018 [1][2][3]. Durante su ejecución se ha recogido información extra que merece la pena considerar, analizar y difundir, y que, más allá del éxito global de la experiencia, invita a la reflexión y a la propuesta de acciones de mejora en la práctica docente. En concreto, este trabajo se centra en la asignatura, “Electrónica Digital” (ED) durante los cursos 2016/17, 2017/18 y 2018/19. En ella, los registros de asistencia, recogidos en cada curso, se han contrastado con los índices de rendimiento académico, buscando pautas y/o correlaciones significativas. Aunque trabajos de este tipo no son frecuentes en nuestro entorno, se pueden encontrar suficientes referencias que apuntan la inquietud e importancia de este tema entre los docentes [4][5][6][7]. Este trabajo pretende compartir nuestros datos y experiencia en esa línea.

En concreto, este artículo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar se describe brevemente el contexto docente y el sistema de evaluación de ED; a continuación se presentan y justifican los principales aspectos que han sido contemplados y la metodología empleada; seguidamente se presentan y discuten los principales datos e índices obtenidos. Finalmente se resumen las conclusiones.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

A. Contexto Docente y Sistema de Evaluación.

“Electrónica Digital” se imparte en el Grado en Ingeniería Electrónica Robótica y Mecatrónica (GIERM) que se oferta en la Universidad de Málaga [8]. Es una asignatura obligatoria de 6 créditos ECTS que desarrolla la parte más básica de la materia Electrónica e Instrumentación. En ella se introducen los fundamentos de los sistemas digitales y del diseño lógico, incluyendo las técnicas de análisis y diseño de sistemas combinatoriales y secuenciales, partiendo de las primitivas básicas, hasta los bloques de pequeña y mediana escala de integración.

En la práctica docente, las horas lectivas se dividen en sesiones de grupos grandes (GG) (4,2 créditos, dos sesiones de 1,5 horas semanales) y grupos reducidos (GR) (1,8 créditos, una sesión de 1,5 horas semanales). Las primeras se emplean, fundamentalmente, en introducir los contenidos de la asignatura mediante clases magistrales, con el soporte de material audiovisual, y en resolver problemas de las relaciones propuestas. Las segundas se dedican por completo a las prácticas de laboratorio. La organización de las prácticas, y su coordinación con otras asignaturas del itinerario de electrónica de la titulación, fue el objeto principal del trabajo presentado en [1] y [2]. El promedio de alumnos matriculados en los tres cursos que aquí se consideran es de 80, por lo que ese es el número de estudiantes asignado a las sesiones GG; a este volumen de estudiantes corresponden tres GR, con un promedio 26 estudiantes por grupo.

Como material docente, además de la amplia bibliografía general disponible para la materia, los estudiantes cuentan con un manual específico que reúne los contenidos concretos presentados en clase, además del material audiovisual utilizado en las clases magistrales, que está a su disposición en el espacio de la asignatura en el campus virtual.

En cuanto a la evaluación, en la fórmula empleada para la calificación final en la primera convocatoria ordinaria (convocatoria de junio) se contemplan tres componentes: (a) calificación del examen final (60%), (b) calificación de las pruebas parciales (15%) y (c) calificación del trabajo realizado en el laboratorio (25%).

B. Metodología.

En los años que se lleva impartiendo esta asignatura se ha realizado un registro de asistencia a las sesiones GG mediante una hoja de firma, indicando a los estudiantes su carácter meramente estadístico. También se ha llevado a cabo un control riguroso de asistencia a las sesiones de laboratorio, esta vez como elemento evaluable, puesto que se ha exigido asistir a, al menos, el 80% de las sesiones de prácticas, como requisito para obtener la suficiencia en la componente (c) de la fórmula de calificación.

En el estudio y análisis que se presentan en este trabajo se han considerado principalmente los datos de asistencia a las clases magistrales y de problemas, y se han contrastado con los resultados del examen de la primera convocatoria (componente (a) de la fórmula para calificación final). Como se verá posteriormente, cuando a este análisis se incorporan las calificaciones de evaluación continua, que incluyen pruebas parciales y las prácticas de laboratorio (componentes (b) y (c) respectivamente de la fórmula de calificación final), los índices académicos finales mejoran, al tiempo que las conclusiones de este primer análisis siguen siendo válidas.

A continuación se detallan los principales aspectos que han sido analizados y su justificación en relación con la visión que proporcionan. Estos son:

- **Datos de asistencia.** Se contemplan tanto datos desagregados, como son la evolución de la asistencia diaria a largo del semestre, como datos agregados, tales como los valores del promedio de asistencia diaria y su variabilidad. Los primeros permiten identificar patrones que se repiten curso tras curso, mientras que los segundos proporcionan argumentos para calificar en conjunto la asistencia a clase en cada curso.
- **Categorías de asistencia.** A fin de facilitar el análisis, siguiendo pautas habituales en la literatura, se ha establecido una clasificación de los estudiantes en cuatro categorías, según el porcentaje de clases a las que han asistido a lo largo del semestre. Estas son:
 - 1) *Asistencia Regular (AR).* Estudiantes que asisten a más del 75% de las clases.
 - 2) *Asistencia frecuente (AF).* Estudiantes que asisten entre el 50 y 75% de las clases.
 - 3) *Asistencia poco frecuente (APF).* Estudiantes que asisten entre el 25 y 50% de las clases.
 - 4) *Asistencia ocasional (AO).* Estudiantes que asisten por debajo del 25% de las clases.

Además de categorizar los datos, esta clasificación permite cualificar la asistencia de los alumnos por curso y realizar la comparación y/o evolución entre los diferentes cursos académicos considerados.

- **Asistencia a clase y participación en el examen.** Permite identificar correlaciones entre la asistencia a

clase y la expectativa de éxito y/o abandono de la asignatura.

- **Tasas de aprobados/suspensos/no-presentados** por categoría de asistencia. Este punto abarca el grueso de las relaciones que permiten identificar correlaciones entre éxito académico y asistencia.
- **Calificaciones y asistencia por categorías.** Este punto permite establecer correlaciones entre asistencia y la calidad del éxito académico.

III. DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Datos de Asistencia

La Fig. 1 muestra los datos de asistencia diaria expresados como % de alumnos asistentes respecto de matriculados, recogidos durante los cursos 2016/17, 2017/18 y 2018/19.

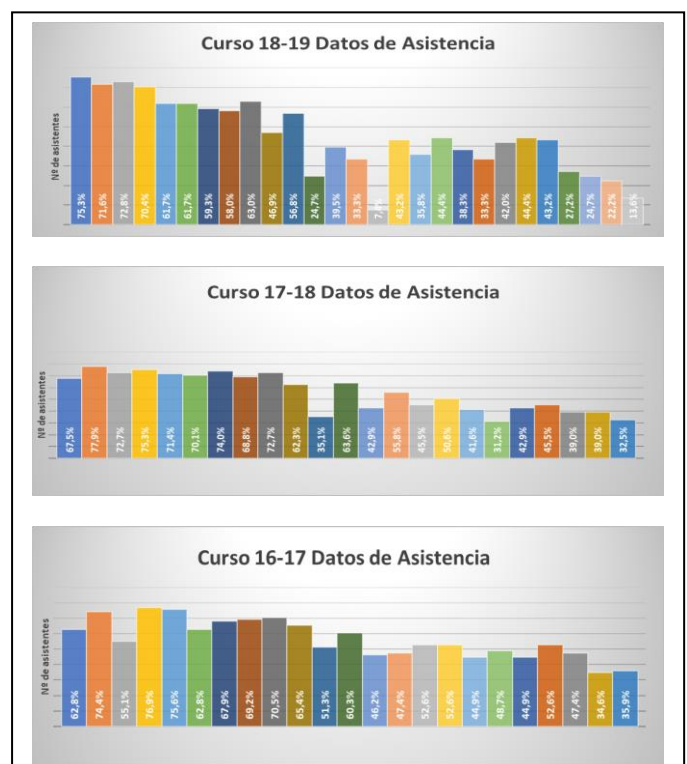


Fig. 1. Porcentaje de asistencia diaria: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

La imagen recoge que, en ningún momento, en ninguno de los años considerados, se supera el 80% de asistencia diaria. Por otra parte, las tres gráficas muestran perfiles similares, donde la máxima asistencia se da en las primeras semanas del curso. La asistencia decrece hacia mitad del semestre (en nuestro caso coincidiendo con las proximidades de la semana santa, y, probablemente, con los primeros exámenes parciales de esta y del resto de asignaturas). Le sigue una ligera recuperación posterior, y un marcado descenso hasta el final del semestre. Este efecto se muestra más acusado en el curso 18/19. Donde el descenso es bastante patente.

La Tabla I recoge los principales datos de asistencia agregados, junto al número total de estudiantes matriculados y porcentaje de repetidores en cada curso.

TABLA I. ASISTENCIA. DATOS AGREGADOS

Curso	Índices			
	Mat. // Rep	%Max // %Min	Prom(%)	DesvStd(%)
2018/19	81 // 21,0%	75,3 // 13,6	46,4	±17,3
2017/18	77 // 32,4%	77,9 // 31,2	55,6	±15,9
2016/17	78 // 29,5%	76,9 // 34,6	56,5	±12,3

Cabe destacar la uniformidad en las cifras durante los dos primeros cursos, y el importante descenso en el % promedio de asistencia para el curso 2018/19, que contrasta con la importante disminución, en este curso, en el número de alumnos repetidores. Para este curso se tiene también un mayor valor de la desviación estándar, lo que apunta a una mayor variabilidad en la asistencia.

La Fig. 2 cualifica los datos de asistencia a clase, discriminando entre las categorías de asistencia regular (AR), frecuente (AF), poco frecuente (APF) y ocasional (AO).

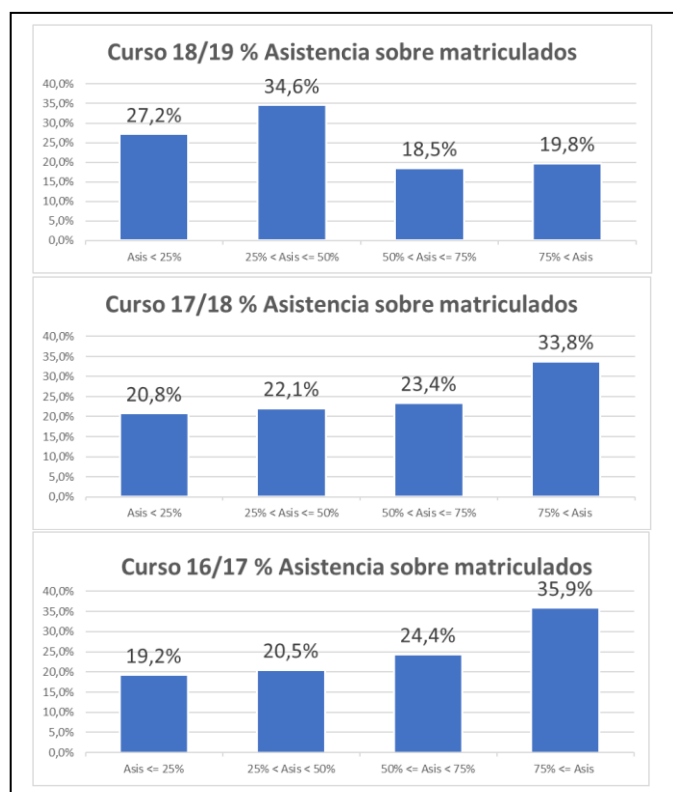


Fig. 2. Clasificación de asistencia: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

Las gráficas muestran una mayor semejanza en los datos de los cursos 2016/17 y 2017/18, con el grupo de asistencia regular claramente mayoritario (35,9% y 33,8% respectivamente) y un cambio de tendencia para el curso 2018/19, donde ahora el grupo mayoritario es el de asistencia poco frecuente (34,6%). Así, para los cursos 2016/17 y

2017/18 la asistencia regular o frecuente está entre el 60,3% y el 57,2%, mientras que para el curso 2018/19 desciende hasta el 48,3%. La causa de estas cifras no puede atribuirse solamente al absentismo de los alumnos repetidores, dado el descenso señalado en el número de estos para este curso.

Podría argumentarse que la bajada en las cifras de asistencia se debe al hecho de que el material docente con el que se presenta la materia en las clases magistrales está disponible, y que la bibliografía es suficientemente amplia y asequible, con lo que el estudiante considera la asistencia prescindible. Aunque por contra, cabe argumentar también que este material docente ya estaba disponible en los primeros cursos aquí considerados, con unas cifras de asistencia mayor. Sin embargo, hay otro factor añadido que podría explicar este cambio de tendencia. Este es el hecho de que para el curso 2018/19 la escuela reestructuró los horarios de las asignaturas, lo que probablemente pudiera haber alterado los hábitos de asistencia. Las prácticas (GR), de asistencia obligatoria, pasaron a las mañanas, mientras que las clases magistrales (GG), continuaron, como en cursos anteriores, por la tarde. Además estas pasaron de ser impartidas los lunes y martes, a primera hora y segunda hora de la tarde, respectivamente, a martes y jueves, a tercera y segunda hora respectivamente. Esta razón puede ser importante, puesto que, como se verá a continuación, la bajada en la asistencia no ha degradado los índices de resultados académicos, sino al contrario. Los datos del presente curso y posteriores ayudarán a despejar esta incógnita.

B. Índices de resultados globales

La Tabla II recoge los principales índices de resultados académicos relativos al examen final y a la primera convocatoria ordinaria (junio).

TABLA II. ÍNDICES DE RESULTADOS ACADÉMICOS

Curso	Índices			
	Prst. Exa. N° (%)	N° Superan Exa // CJun	Rdto. (%) Exa // CJun	Éxito (%) Exa // CJun
2018/19	62 (76,5)	38 // 48	46,9 // 59,3	61,3 // 77,4
2017/18	62 (80,5)	31 // 45	40,3 // 58,4	50,0 // 72,6
2016/17	62 (79,5)	31 // 41	39,7 // 52,6	50,0 // 66,1

Es ella se observa que el porcentaje de presentados a examen, y equivalentemente a la primera convocatoria ordinaria, ha descendido ligeramente en el curso 2018/19, (no así en términos absolutos) aunque en menor medida que el descenso en asistencia. Sin embargo, los índices de éxito y de rendimiento exhiben un notable incremento. Las diferencias entre las tasas referidas al examen y a la calificación final, se explican principalmente por la contribución a esta última de las prácticas de laboratorio, que favorece que muchos alumnos compensen una calificación en el examen ligeramente por debajo de la frontera del aprobado.

C. Índices de resultados en cada categoría

Para poner en relación las anteriores cifras con las de asistencia consideraremos diferentes situaciones.

La Fig. 3 recoge los porcentajes de aprobados, suspensos y no presentados en el examen de la asignatura para cada una de las cuatro categorías establecidas. Las gráficas parecen confirmar varias de las ideas generales preestablecidas: (1) que la tasa de abandono de la asignatura crece en el sentido de absentismo creciente (AR hacia AO); (2) que los estudiantes del grupo AR son los que presentan mayores tasas de éxito; (3) que los estudiantes del grupo AO, presentan, generalmente, las menores tasas de éxito. Parece claro que, en estos casos, el éxito en el examen se corresponde con una asistencia a clase más regular, lo que no quiere decir que sea su principal razón. Para los estudiantes de los grupos AF y APF las gráficas muestran diversidad de situaciones. Mientras que para los cursos 2018/19-18/17 la tasa de éxito es claramente mejor en AF que en APF, este no fue el caso para el curso 2016/17, donde la tasa de éxito de APF fue ligeramente superior a la de AF, aunque la pequeña diferencia parece apuntar hacia alguna circunstancia especial. Cabe pensar pues, que, en estos grupos el factor asistencia es uno más, entre otros muchos, de los que han conformado el éxito en la asignatura.

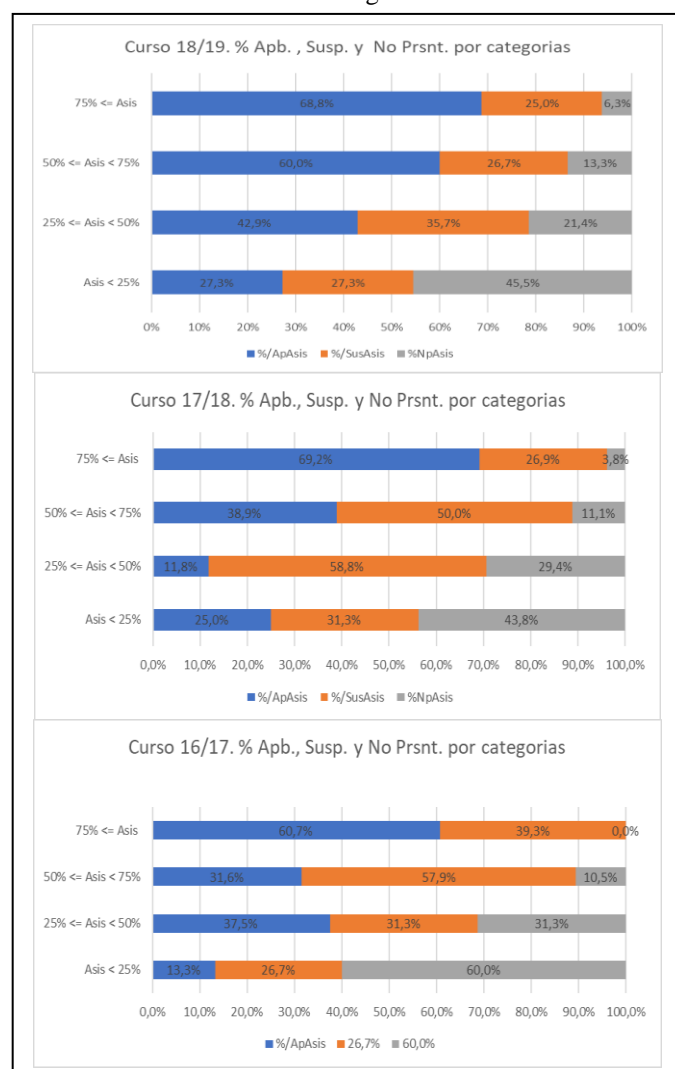


Fig. 3. % Aprobados, suspensos y no presentados a examen por categorías: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

Cuando se incorpora a la ecuación de la evaluación de la 1ª convocatoria ordinaria, la contribución de las otras componentes de la fórmula de evaluación, estas cifras se ven matizadas, principalmente en las categorías APF y AO, con un incremento en la tasa de éxito, aunque sin cambios sustanciales en las conclusiones generales (Fig. 4).

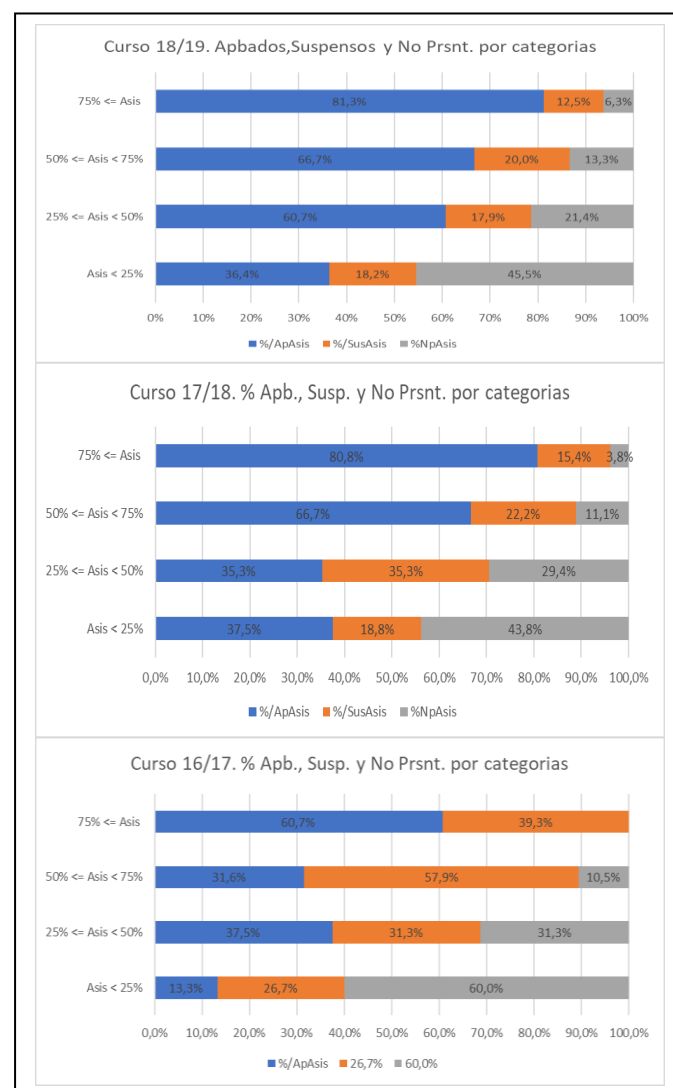


Fig. 4. % Aprobados, suspensos y no presentados a 1ª convocatoria ordinaria por categorías: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

Por otra parte, resulta también esclarecedor contemplar cómo se distribuyen por categorías las calificaciones de los estudiantes que aprueban el examen. Estos datos se han recogido en la Fig. 5.

Claramente, en todos los cursos la máxima calificación (sobresaliente) la obtienen estudiantes del grupo AR. Por su parte, la calificación de notable aparece en estudiantes de todos los grupos, aunque destaca en los grupos AR y AF. Finalmente, como parece natural, la calificación de aprobado aparece en todas las categorías. Sin embargo, cabe remarcar aquí el caso del curso 2018/19, donde los datos de asistencia por grupos muestran un perfil más plano, y donde destaca el

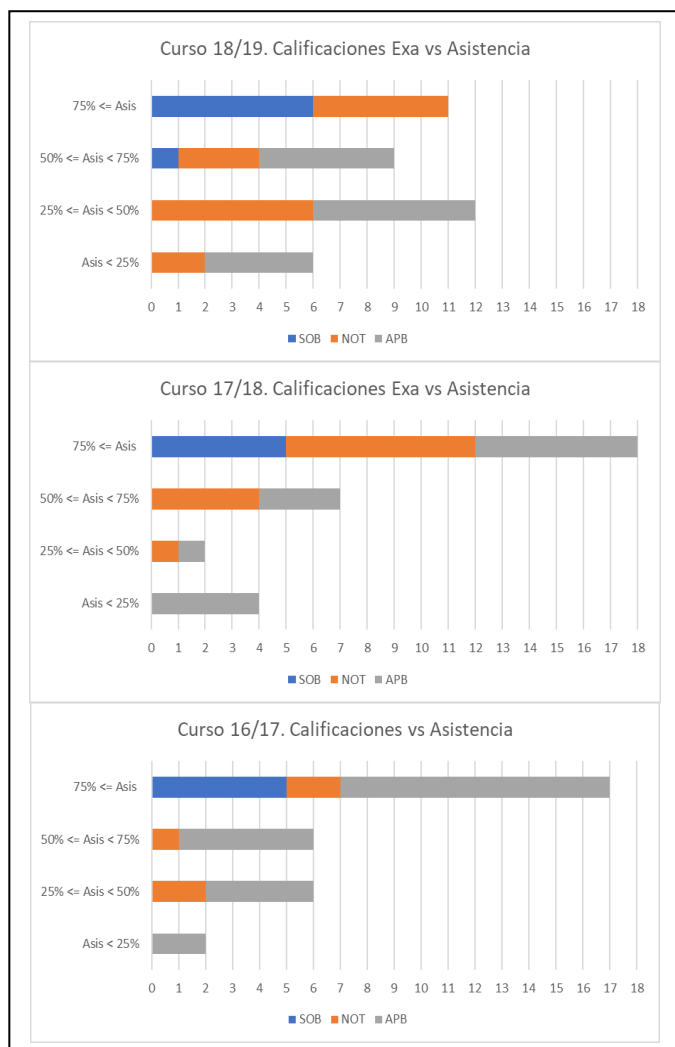


Fig. 5. Distribución de notas de aprobados en el examen por categorías: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

hecho de que las mejores calificaciones se repartieron entre los estudiantes de los grupos AR y AF, de forma que todos los estudiantes de AR que aprobaron el examen obtuvieron una calificación mayor o igual a notable. De nuevo, estos datos apuntan la correlación positiva entre buenos resultados académicos y asistencia a clase regular, o frecuente.

Sin embargo, esta conclusión no parece tan clara si los datos se analizan desde otra perspectiva.

D. Distribución de resultados académicos globales por categorías

Revisaremos en primer lugar la influencia de la asistencia en la decisión de presentarse o no al examen.

La Fig. 6 muestra cómo se distribuyen por categorías de asistencia los estudiantes presentados a examen, en los tres cursos considerados. Durante los cursos 2016/17 y 2017/18 la gran mayoría de los alumnos presentados a examen habían asistido regular o frecuentemente a clase (en conjunto más del 65%). Destaca que, en ambos cursos, más del 40% de los

presentados asistieron regularmente a clase. De nuevo, el curso 2018/19 marca la diferencia, donde el grupo más numeroso entre los presentados fue el de los alumnos que asistieron a clase de forma poco frecuente (35,5%).

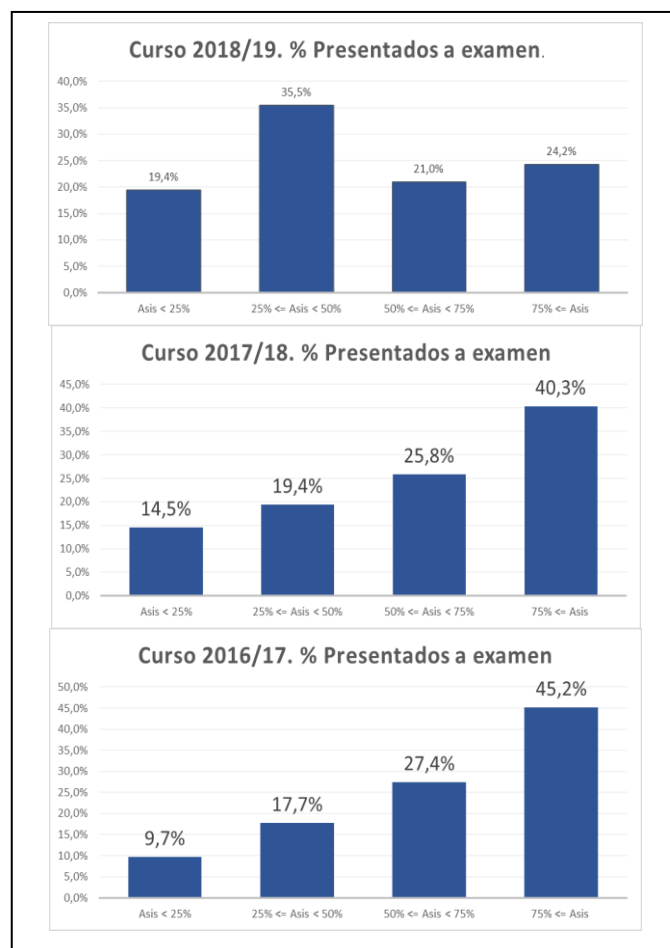


Fig. 6. % Respecto de matriculados, presentados a examen por categorías: Curso 16/17 a), Curso 17/18 b) y Curso 18/19 c).

Destaca también que, en este curso, un 19,4% de los alumnos que se presentaron a examen solo habían asistido a clase ocasionalmente. Estos datos resultan también llamativos, puesto que la tasa de éxito en el examen aumento en 11,3 puntos porcentuales en este curso respecto de los anteriores. Podemos concluir pues que durante el curso 2018/19 los alumnos tenían confianza en superar la asignatura a pesar no haber asistido frecuentemente a clase, probablemente pensando en la posibilidad de compensación que supone el trabajo de prácticas, al que se aplicaron con más compromiso.

Por su parte la distribución de alumnos no presentados a examen se recoge en la Fig. 7. Estas gráficas resultan similares para los tres cursos considerados. En todos ellos, más de la mitad de los estudiantes no presentados al examen solo habían asistido a clase de forma ocasional, y aproximadamente un tercio adicional, de forma poco frecuente. Por tanto, puede concluirse que el abandono de la signatura, por parte de estos estudiantes, venía anunciado por su no asistencia a clase.

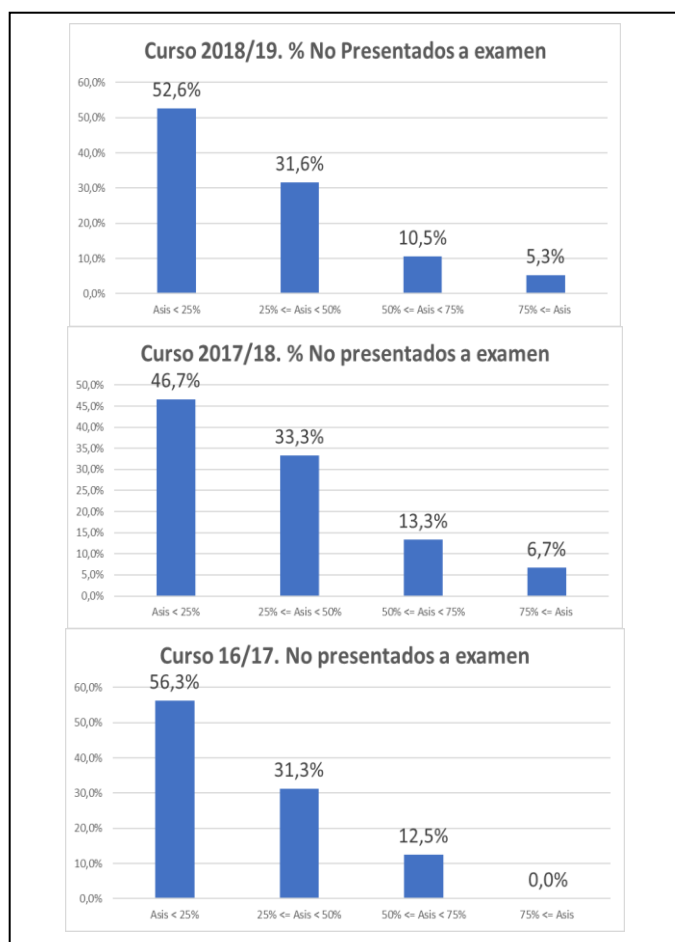


Fig. 7. % Respecto de matriculados, no Presentados a examen por categorías: Curso 16/17 a), Curso 17/18 b) y Curso 18/19 c).

Por otra parte, otro dato significativo es que no se presentan al examen, en torno al 15% de los estudiantes que asisten frecuente o regularmente a clase. Sin embargo, considerado en términos absolutos, este número es pequeño (entre dos y tres), por lo que la razón del abandono puede estar en causas excepcionales.

A continuación, se estudia cómo se distribuyen los alumnos que superan el examen y la asignatura entre las diferentes categorías de asistencia consideradas.

La Fig. 8 recoge cómo se distribuyen por categorías de asistencia, sin atender a la calificación concreta, los alumnos que superan el examen (Exa), y cómo resulta finalmente en la 1ª convocatoria ordinaria (CJun).

Las gráficas de los cursos 2016/17 y 2017/8 muestran claramente que el grueso de alumnos que superan el examen está entre los que asisten a clase regularmente (AR) (con un índice superior al 54% en ambos casos), llegando a superar el 64% si se agrega el grupo que asiste frecuentemente (AF). Lo que apunta de nuevo a una alta correlación entre asistencia a clase y éxito en el examen. Sin embargo, no hay que olvidar que durante estos cursos está fue la categoría que presenta un mayor porcentaje de alumnos que se presentaron a examen

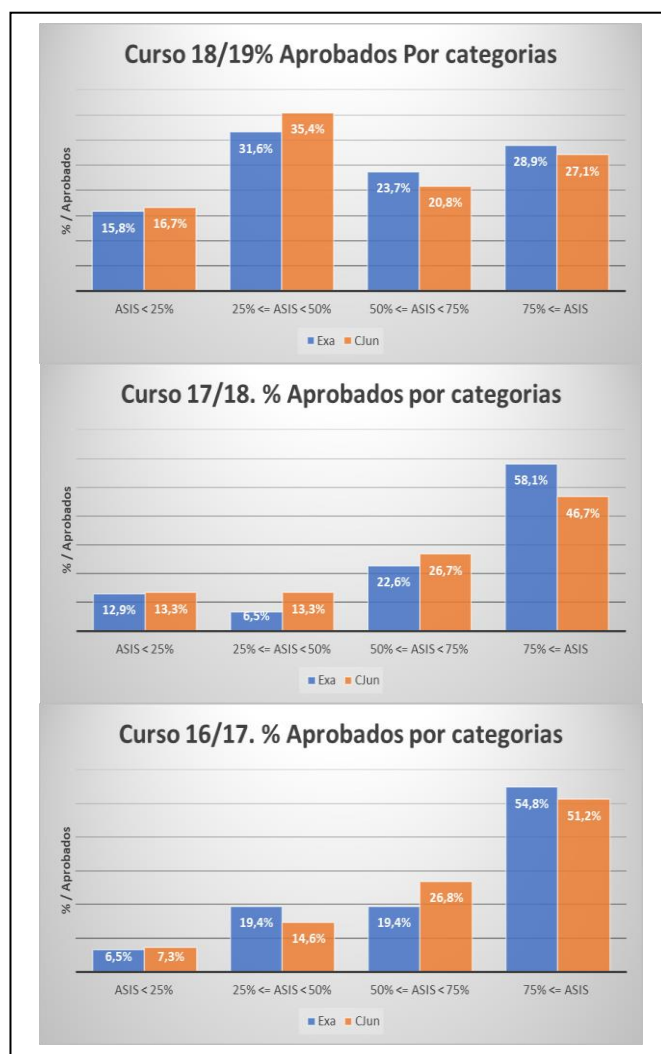


Fig. 8. Distribución de aprobados a examen y 1ª convocatoria ordinaria (%) por categorías de asistencia: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

(véase la Fig. 6). Por contraste, para el curso 2018/19, el perfil de la distribución de alumnos que superan el examen resulta más uniforme, por lo que da la impresión de que la asistencia a clase pierde relevancia en la superación o no del examen. Destaca también, que el grupo más numeroso es el de los alumnos cuya asistencia fue poco frecuente (APF 31,6%), o incluso el elevado porcentaje (15,8%) que conforman los alumnos con asistencia ocasional (AO). El resultado de APF es conforme con el hecho de que este es el grupo que constituye el de mayor porcentaje entre los presentados. Resulta significativo también notar el efecto de las componentes de evaluación continua (b) y c) en la fórmula de cálculo) tienen sobre estos datos en la calificación final. Durante el curso 2016/17 el efecto ha sido incrementar ligeramente el peso de los grupos AO y AF, en detrimento de APF y AR. Para el curso 2017/18 resultan incrementadas todas las categorías, en detrimento de AR. En ambos casos, sin embargo, la correlación positiva entre asistencia a clase y éxito en la asignatura parece clara (índice superior al 70% en ambos casos). Finalmente, para el curso 2018/19 también destaca el

hecho de que el efecto de la componente de evaluación continua incrementa los porcentajes de *AO* y *APF*.

La Fig. 9 recoge la distribución de porcentajes de alumnos que no superan el examen, junto a la de los que suspenden en la 1ª convocatoria ordinaria (CJun), por categorías de asistencia.

La gráfica del curso 2016/17 muestra que el grueso de los alumnos que suspende está en las categorías *AF* y *AR*. Lo que en este caso sugiere que la asistencia a clase no fue indicador de éxito, en contradicción con lo dicho acerca de lo observado en la gráfica de la Fig. 8. La razón de esta aparente contradicción hay que buscarla de nuevo en los datos de alumnos presentados a examen. Nótese (ver Fig. 6), que estas categorías también constituyen el grueso de alumnos presentados a examen, y que la tasa de éxito en el examen en se curso es el 50% (Ver Tabla II). Es decir, para este curso, la asistencia a clase fue indicador de la voluntad de presentarse al examen, pero no supuso garantía de éxito.

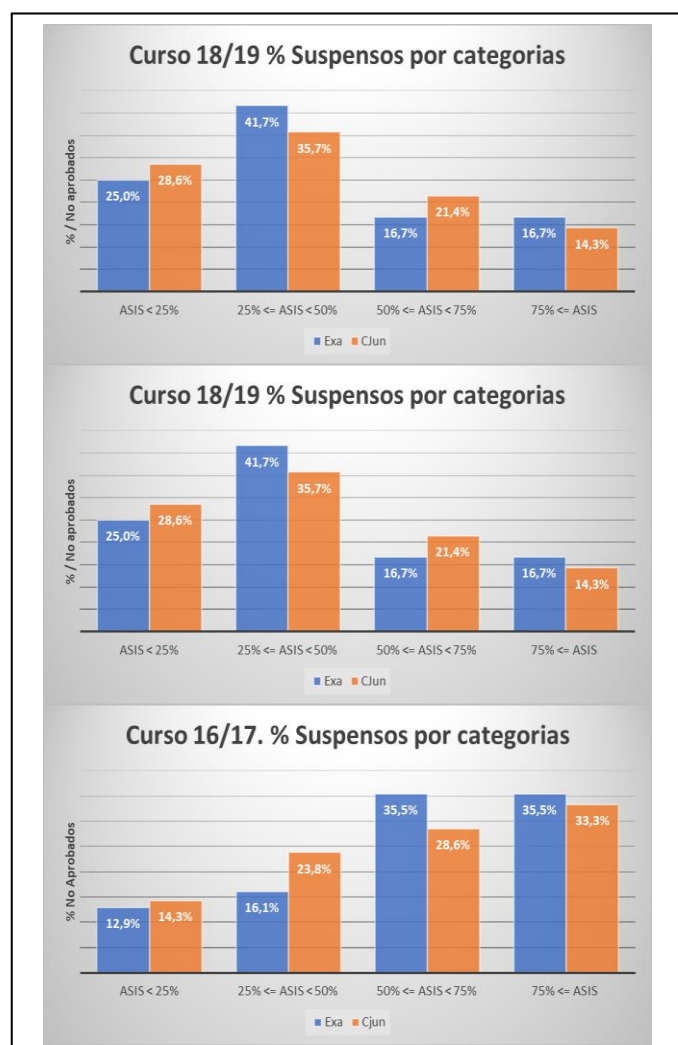


Fig. 9. Distribución de no aprobados a examen, y 1ª convocatoria ordinaria (%) por categorías de asistencia: Curso 18/19 a), Curso 17/18 b) y Curso 16/17 c).

Por otra parte, para los cursos 2017/18 y 2018/19 el grueso de estudiantes que suspenden el examen está en las categorías *APF* y *AO*. En este caso, la asistencia a clase sí se correlaciona positivamente con el éxito en el examen, más claramente en el curso 2017/8, y un poco más matizado para el curso 2018/19. A la vista de estos argumentos, parece que no puede establecerse con claridad que la asistencia a clase sea un factor muy influyente en el éxito final en el examen y en la asignatura. Finalmente, al incluir la componente de evaluación continua, se mantienen las pautas señaladas para los datos de la Fig. 8.

E. Resumen de resultados

Para el análisis agregado de los datos, se han establecido cuatro categorías de asistencia: asistencia ocasional (*AO*), asistencia poco frecuente (*APF*), asistencia frecuente (*AF*) y asistencia regular (*AR*).

A nuestro juicio, los resultados más destacados de este análisis son:

- La asistencia diaria a clase no supera nunca el 80% de los matriculados en la asignatura. Con un promedio en torno al 50%.
- Entre un 20% y 30% de los estudiantes asisten a clase de forma ocasional.
- El grupo *AR* nunca ha superado el 36% de los alumnos matriculados.
- Se repite un patrón de asistencia decreciente a lo largo del semestre, con un punto de inflexión hacia la mitad (coincidiendo con controles parciales de ésta y de otras asignaturas) y un acusado descenso hacia el final.
- En un análisis de índices de resultados académicos por categorías, el grupo de *AR* es el que presenta los mejores índices. Muy por encima de los índices globales de la asignatura. Y en general es el grupo que obtiene las mejores calificaciones. Aunque no se puede concluir que la asistencia a clase sea la principal razón de su éxito en la asignatura.
- El grupo *AO* presenta los índices de éxito y rendimiento más bajos. Aunque hay estudiantes de esta categoría que finalmente superan la asignatura.
- En los grupos *AF* y *APF* se muestra mayor variabilidad en los resultados, acorde con la diversidad de factores que intervienen en el éxito final en la asignatura, y que habría que investigar.
- Un estudio de cómo se distribuyen resultados académicos por categorías de asistencia, por sí solo, puede llevar a conclusiones contradictorias. Este análisis debe tener en cuenta también la distribución de porcentajes de presentados a examen, en cada categoría. Esto ayuda a interpretar resultados como que, para los cursos 2016/17 y 2017/18, la categoría que contribuye con mayor porcentaje al número de aprobados y suspensos sea *AR*; o que, para el curso 2018/19, el grupo más numerosos en porcentaje de

aprobados y suspensos sea la categoría APF. En ambos casos, estas categorías son también el grupo mayoritario en porcentaje de presentados.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado y discutido datos de asistencia a clase y resultados académicos de la asignatura Electrónica Digital durante los cursos 2016/17, 2017/18 y 2018/19. El principal objetivo ha sido identificar patrones y verificar correlaciones entre estos factores, abriendo las puertas a posteriores trabajos que incidan en esclarecer las razones del absentismo, tanto en aquellos casos de asistencia ocasional, como en los de disminución progresiva de la asistencia. En este sentido, un estudio similar a este, considerando los resultados de las pruebas parciales, mediado el semestre, podría ayudar a explicar la evolución de la asistencia a clase hacia el final del semestre, anticipar los resultados finales, y, en su caso, promover acciones de recuperación de estudiantes que hayan podido quedar descolgados de la asignatura. Por otra parte, aunque del presente análisis no pueda afirmarse que la asistencia a clase es fundamental para el éxito en la asignatura, sí parece claro que el éxito en la asignatura viene acompañado de una asistencia regular a clase. Así, parece buena la elaboración de propuestas orientadas al fomento de la asistencia regular y la participación activa en clase, como acción de mejora. Un primer paso podría ser publicitar estos datos a principio de curso, presentándolos y comentándolos en clase con los estudiantes, al tiempo que se presenta la asignatura.

AGRADECIMIENTOS

Esta experiencia docente ha sido realizada y financiada en el marco de los proyectos PIE15-95 y PIE17-130, Proyectos de Innovación Educativa convocados por el Vicerrectorado de Personal Docente e Investigador de la Universidad de Málaga.

REFERENCIAS

- [1] Rafael de Jesús Navas-González, Raquel Fernández Ramos y Alberto Daza-Márquez, “Coordinación e Integración de Prácticas de Electrónica en Asignaturas de Grado en Ingeniería”. Actas del XII Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAEE2016); pp. 321-328; Sevilla 22-24 junio, 2016. ISBN-13: 978-84-09-0313-9. (Último acceso marzo 2020)
- [2] Rafael de Jesús Navas-González, Alberto Daza-Márquez, Raquel Fernández Ramos y Óscar Oballe Peinado, “Coordinación e Integración de Prácticas en Asignaturas de Grado en Ingeniería: Electrónica Digital y Sistemas Electrónicos”. Actas del XIII Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAEE2018); pp. 363-369; La Laguna (Tenerife) 20-23 junio, 2018. ISBN: 978-84-608-9298-4. (Último acceso marzo 2020)
- [3] Alberto Daza-Márquez, Raquel Fernández Ramos y Rafael de Jesús Navas-González, “Aprendizaje mediante prácticas coordinadas en Asignaturas de Grado en Ingeniería”. Actas del XIII Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAEE2018); pp. 205-213; La Laguna (Tenerife) 20-23 junio, 2018. ISBN: 978-84-608-9298-4. (Último acceso abril 2020)
- [4] J. Pérez y S. Graell “Asistencia a clase y rendimiento académico en estudiantes de medicina. La experiencia de la UAB” Educación Médica 200; 7(2). 85-89
- [5] F. Sanchez Carracedo et al. “¿Por qué faltan a clase los alumnos?”, Actas de las XXIII JENUI. Cáceres, 5 al 7 de julio 2017 ISBN: 978-84-697-4077-4 pp. 165-172.
- [6] J.A. Álvarez Saura, y otros, *Causas de la falta de asistencia a clase en una facultad de ciencias: Análisis de los resultados de encuestas personales*; REOP - Revista Española de Orientación y Psicopedagogía; Vol. 15, Nº 2, 2º semestre; pp. 317-335. 2004
- [7] E. Fedriani Martel e I. Romano Paguillo; “Influencia de la asistencia a clase de Matemática Empresarial sobre el rendimiento académico”, XXII Jornadas ASEPUMA y X encuentro internacional - Anales de ASEPUMA nº 22: 1112, Málaga 10-11 julio 2014.
- [8] <http://www.uma.es/grado-en-ingenieria-electronica-robotica-y-mecatronica>

Aplicación de la clase invertida en una asignatura de introducción a la electrónica digital

Raúl Alcaraz
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Raul.Alcaraz@uclm.es

Arturo Martínez-Rodrigo
Facultad de Comunicación
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Arturo.Martinez@uclm.es

Roberto Zangróniz
Escuela Politécnica
Universidad de Castilla-La Mancha
Cuenca, Spain
Roberto.Zangroniz@uclm.es

José J. Rieta
Escuela Politécnica Superior de Gandía
Universitat Politècnica de Valencia
Gandía (Valencia), Spain
jjrieta@upv.es

Resumen—Debido a los constantes cambios que experimenta el panorama tecnológico actual, la sociedad demanda cada vez más ingenieros con habilidades transversales, capaces de enfrentarse exitosamente a problemas todavía por descubrir en un futuro no tan lejano. En este sentido, ciertos esquemas de enseñanza activos y centrados en el alumno son más eficaces, dotando a los estudiantes de estas habilidades, que los métodos de enseñanza tradicional. Sin embargo, el uso de estas metodologías docentes no ha sido muy explorado en cursos de ingeniería. Por lo tanto, en este trabajo se realiza una comparativa entre los métodos de enseñanza tradicional (ET) y de clase invertida (CI), analizando diferentes cursos académicos en una asignatura de introducción a la *Electrónica Digital* en un Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. Para llevar a cabo esta comparativa, se analizaron a lo largo de dos cursos académicos, donde los esquemas de ET y CI fueron alternados, indicadores objetivos tales como el grado de asistencia a clase, las calificaciones, o la carga de trabajo de los estudiantes y del profesor. Los resultados mostraron que los estudiantes que participaron bajo el esquema de enseñanza de CI estaban más involucrados y consiguieron calificaciones globales más altas en la asignatura que aquellos que la cursaron a través del método de ET. Finalmente, la carga de trabajo del profesor y de los alumnos no se vio globalmente incrementada en el caso de la CI con respecto a la ET.

Index Terms—Aprendizaje Activo, Clase Invertida, Electrónica Digital.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los constantes avances tecnológicos están cambiando el mundo de una forma rápida y sorprendente. En solo unos pocos años, las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han sido las responsables de numerosos cambios en diferentes ámbitos de nuestra sociedad. La informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones se han convertido en los pilares básicos del desarrollo de las TIC, pero no de forma aislada, sino de manera interactiva e interconexiónada, lo que permite conseguir nuevas realidades comunicativas. En este sentido, Internet, las redes sociales

o los dispositivos móviles son solo ejemplos de paradigmas tecnológicos que han transformado completamente el modo en que la gente se comunica y obtiene información. En este contexto, cada vez son mayores las oportunidades generadas y la demanda de ingenieros preparados para abordar la realidad tecnológica actual. Sin embargo, desde una perspectiva docente, supone un gran reto educacional dar respuesta a los requisitos transversales que la sociedad demanda de los ingenieros. Conseguir una adecuada formación para que los ingenieros del futuro sean capaces de desarrollar tareas que hoy en día no se pueden imaginar es uno de los mayores retos de la enseñanza universitaria [1]. En este sentido, el Centro Internacional de Enseñanzas de Ingeniería de la UNESCO ha destacado que más allá de las competencias técnicas troncales, se requiere que los ingenieros de hoy en día dominen una amplia gama de habilidades que les permita enfrentarse a los retos y problemas generados en una sociedad en constante cambio [2]. Por lo tanto, las carreras de ingeniería deben procurar a los estudiantes competencias profesionales y habilidades interdisciplinarias, tales como trabajo en equipo, resolución de problemas, gestión de la información, pensamiento crítico, adaptación a los cambios, comunicación eficiente y autoaprendizaje del alumno, entre otras.

Para enseñar estas habilidades transversales y multidisciplinares, cada vez más profesores universitarios están comenzando a utilizar metodologías activas y centradas en el alumno, ya que han mostrado ser más efectivas que los métodos docentes tradicionales en el desarrollo de dichas competencias [3]. Además, las metodologías activas han demostrado una mayor capacidad para proveer al alumno de un entendimiento conceptual más profundo, así como una mejora del interés [4]. No obstante, a pesar de estas ventajas que podrían solucionar en parte los retos educacionales presentes, las metodologías de enseñanza activas todavía no han sido ampliamente adoptadas en los primeros cursos de grado, especialmente en los estudios de ingeniería. En efecto, existen cada vez más estudios docentes que demandan más esfuerzos para modernizar las

Este trabajo se ha financiado a través del Plan Estratégico 2017–2020 de la Escuela Politécnica de Cuenca (programa CD–AFP20), así como con fondos propios de la Facultad de Comunicación, Universidad de Castilla-La Mancha

metodologías pedagógicas tradicionales usadas en los estudios de ingeniería [5], [6]. Una de las principales razones de esta oposición podría deberse a que existe una creencia generalizada de que las metodologías activas y centradas en el estudiante requieren sacrificar contenido de la asignatura [7], además de un mayor esfuerzo preparando materiales y actividades [8].

El presente trabajo muestra una primera experiencia empleando metodologías docentes activas en una asignatura de introducción a la *Electrónica Digital*, ubicada en segundo curso de un Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. La innovación docente consistió en cambiar la metodología de impartición de las clases teóricas, de tal forma que las sesiones prácticas en el laboratorio quedaron sin alterar. Así, en vez de emplear una metodología de enseñanza tradicional (ET) a través de clases magistrales teóricas, se empleó una estrategia pedagógica basada en la denominada clase invertida (CI). Cabe destacar que el contenido básico de la asignatura fue cubierto en todos los casos. La CI se caracteriza por dos fases contrapuestas al modelo ET. Así, en una primera fase, el alumno adquiere una serie de conocimientos antes de la clase, a través de distintos medios tecnológicos como vídeos, miniaplicaciones (*widgets*), podcasts, etc., mientras que en una segunda fase, el docente consolida el aprendizaje durante el horario de clase y genera dinámicas para que los alumnos puedan compartir dicha información a través de discusiones grupales o resolución de problemas [9].

La comparación entre las dos metodologías (ET vs. CI) y el posible impacto en estudiantes y profesores se llevó a cabo mediante el uso de indicadores de resultados objetivos. Así, se analizaron los ratios de asistencia, la carga de trabajo de alumno y profesor, junto con las calificaciones finales. Como resumen, este estudio se centra en dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

- Cuando se mantiene el contexto de aprendizaje, ¿es más efectiva la metodología de CI que la ET involucrando a los alumnos en la asignatura y proporcionándoles un mejor y más profundo entendimiento de los conceptos teóricos del curso?
- Comparado con los métodos de ET, ¿pueden la CI mejorar el aprendizaje de los alumnos?
- En comparación con los métodos de ET, ¿supone la CI un aumento considerable de la carga de trabajo para el estudiante y el instructor?

II. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CURSO

Electrónica Digital es una asignatura obligatoria de segundo curso impartida en el Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación en la Escuela Politécnica de Cuenca, de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Esta asignatura muestra a los estudiantes, por primera vez en el grado, los conceptos fundamentales de los circuitos digitales, incluyendo el sistema binario y puertas lógicas, así como bloques lógicos digitales y sistemas digitales complejos. El curso está dividido en cuatro créditos de teoría, según el Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (ECTS) y dos créditos prácticos ECTS. La carga docente se reparte en 40 horas de clase y 20

horas de laboratorio, que se imparten a lo largo de 13 semanas. Por lo tanto, los alumnos deben atender a tres sesiones de 90 minutos a la semana, donde dos sesiones están dedicadas a clases teóricas y una sesión está destinada a prácticas en el laboratorio.

Los resultados previstos de aprendizaje (RPA) que describen las habilidades que el alumno debería conocer y poner en práctica al final del curso son los siguientes:

1. Convertir números entre distintos sistemas numéricos.
2. Aplicar operaciones aritméticas con números entre diferentes sistemas numéricos.
3. Explicar las funciones lógicas básicas, así como el funcionamiento de las puertas lógicas.
4. Conocer y aplicar las reglas y leyes que gobiernan el álgebra de *Boole*.
5. Implementar la minimización a nivel de puerta, de las principales funciones lógicas.
6. Analizar y diseñar sistemas combinacionales.
7. Analizar y diseñar sistemas secuenciales síncronos y asíncronos.
8. Reconocer las principales aplicaciones de los sistemas digitales.
9. Implementar circuitos en dispositivos programables mediante el uso de VHDL.
10. Desarrollar un pensamiento crítico y habilidades basadas en la resolución de problemas en las actividades grupales de laboratorio.

En lo referente a la evaluación de la asignatura, las calificaciones están estructuradas de tal forma que el 20 % de la calificación final corresponde a tareas a desarrollar en casa, el 30 % a las actividades desarrolladas en el laboratorio y el 50 % restante al examen final. Tanto las tareas en casa como el examen final están enfocados para que el profesor evalúe los logros de los RPA 1-8. Por el contrario, los RPA 9-10 se evalúan a través del trabajo en grupo en el laboratorio. En este sentido, en los últimos minutos de cada sesión de laboratorio, un miembro del grupo que actúa como representante del equipo ha de contestar a las preguntas del profesor sobre el trabajo desarrollado en esa sesión práctica. Esta persona en cuestión es designada de forma aleatoria por el profesor, consiguiendo así una interdependencia positiva entre los miembros del equipo [10]. Además, el instructor se encarga de completar una rúbrica por cada sesión para evaluar el trabajo individual y colectivo de cada estudiante [10].

A pesar de que cada sesión de laboratorio es evaluada a través de esta metodología, solamente las evaluaciones recogidas en las últimas cinco sesiones de laboratorio se tienen cuenta para la calificación final del mismo. Esto se debe a que durante estas sesiones el alumno tiene que desarrollar un sistema digital real, donde se reutilizan los componentes digitales desarrollados en las sesiones anteriores. Más concretamente, los alumnos han de diseñar, implementar y validar un transmisor-receptor universal asíncrono (UART), conectando una placa de desarrollo Altera (ahora Intel) DE2 con un ordenador externo. En esta práctica, la tasa de datos

es una variable de entrada y los datos transmitidos y recibidos son visualizados a través de un display de 7 segmentos. Así, en las 8 primeras sesiones de laboratorio, los alumnos diseñan y integran componentes combinacionales y secuenciales en la placa de desarrollo DE2, tales como decodificadores, multiplexores, sumadores, comparadores, contadores, registros de desplazamientos y *flip-flops*. Con el objetivo de mejorar sus habilidades de trabajo en equipo, los alumnos reciben realimentación del profesor de forma inmediata, utilizando la información recogida en estas clases.

III. METODOLOGÍAS DOCENTES PARA DOS CURSOS

En este estudio, la asignatura *Electrónica Digital* fue evaluada durante dos años académicos consecutivos, utilizando una metodología docente distinta en las clases teóricas para cada año ofertado. Así, se usó una metodología basada en ET para el primer año y una metodología activa basada en CI para el segundo año. Es importante destacar que en ambos años académicos, los días de clase a la semana fueron los mismos, repartidos de la misma manera e impartidos por el mismo profesor. El contenido de la asignatura fue exactamente el mismo en los dos años académicos y los temas fueron impartidos en el mismo orden. Además, el sistema de calificaciones descrito anteriormente se mantuvo inalterado de tal forma que las entregas de trabajos y el examen final se llevaron a cabo aproximadamente en las mismas fechas durante el curso. El examen en ambos casos consistió en cuatro preguntas cortas a desarrollar y dos problemas con el mismo nivel de dificultad. Por último, destacar que se usó la misma plataforma (Moodle) como herramienta online para el intercambio de documentos, desde donde los alumnos se descargaron el material docente y subieron las tareas e informes de prácticas.

III-A. Enseñanza tradicional

A lo largo del primer año académico, el profesor impartió los conceptos teóricos mediante el uso de transparencias con PowerPoint, mientras que los alumnos tomaban notas. En cada tema, el profesor dedicaba los cinco primeros minutos a introducir el tema con algunos ejemplos motivadores y terminaba la clase resolviendo algunos problemas relacionados con el contenido visto en esa lección sobre la pizarra. Algunas veces, se les pedía a los alumnos resolver los ejercicios por ellos mismos de forma individual, aunque podían discutir los posibles resultados con los compañeros. De esta forma, se les permitía a los alumnos aplicar el conocimiento adquirido en clase, así como resolver dudas particulares. De hecho, mientras el alumno resolvía el ejercicio, el profesor caminaba entre los pupitres para monitorizar el progreso de aprendizaje y resolver dudas individuales. Por otro lado, después de las sesiones teóricas, se les pedía a los alumnos hacer una serie de tareas en casa, que consistían en la resolución de un conjunto de problemas. En la Figura 1(a) puede observarse el desglose de las actividades llevadas a cabo con el método de ET. Tanto los problemas propuestos para resolver en casa, como los resueltos en clase se escogieron de libros de texto actuales [11]–[13].

En cuanto a las sesiones de laboratorio, cada experimento práctico a desarrollar fue propuesto siempre después de que los conceptos básicos teóricos hubieran sido explicados en clase. En este sentido, podrían transcurrir de 5 a 20 días desde la explicación teórica hasta que los alumnos la aplicaban de forma práctica en el laboratorio. Cabe destacar que, para cada sesión práctica, el profesor proporcionó a los alumnos una guía para la resolución de los experimentos prácticos en forma de instrucciones directas. Los alumnos trabajaron en grupos permanentes de dos a tres alumnos. Estos grupos fueron organizados de forma premeditada por el profesor, atendiendo a factores como el talento o el género, pero sin asignar ningún tipo de rol entre ellos. Los alumnos de los grupos que mostraron algún tipo de disfuncionalidad en la primera sesión se reasignaron en grupos operativos ya existentes.

III-B. Clase invertida

Durante el segundo año académico, las clases de teoría se llevaron a cabo utilizando una metodología docente basada en la CI, sin alterar las sesiones de laboratorio, tal y como puede observarse en la Figura 1(b). Antes de cada clase teórica, se le pidió a los alumnos llevar a cabo una serie de lecturas, visualizar un conjunto de videos y resolver algunos ejercicios básicos utilizando tutoriales o aplicaciones en la web. Acorde con la metodología de CI, el propósito de estas actividades previas, no es la de intentar que el alumno tenga un completo entendimiento de los conceptos, sino más bien la de proporcionarles una buena base introductoria para que sigan aprendiendo en las actividades que se desarrollarán durante la clase [14].

En este sentido, los libros de texto actuales en los que se describen los circuitos digitales, presentan material de lectura pensado para el aprendizaje individual del alumno, incluyendo numerosos ejemplos resueltos, resaltando los aspectos clave o proponiendo un conjunto de preguntas y problemas a resolver. De esta forma, se propuso a los alumnos la lectura semanal de algunas secciones de capítulos de libros de texto [11], [12]. No obstante, dado que los alumnos de hoy en día prefieren los medios visuales e interactivos [15], también se les propuso la visualización de diferentes videos relacionados con los fundamentos a enseñar cada semana. Existen en la red muchos videotutoriales producidos por reconocidos colegas de profesión y universidades que están disponibles de forma gratuita. Teniendo en cuenta la capacidad de atención de los estudiantes, se usaron videos de entre 5 y 15 minutos de duración, publicados en abierto por la Universidad Politécnica de Valencia, la *Central Michigan University* y el *Intel FPGA University Program*. Así, no fue necesaria la creación de videos propios dada la calidad de los recursos ya publicados en internet, salvo en el caso de algunos tutoriales tratando conceptos complejos tales como la normalización y minimización de funciones lógicas o el diseño y análisis de máquinas de estados finitos. Por último, es importante destacar que estas actividades previas a la clase estuvieron disponibles en Moodle desde el primer día, de tal forma que el alumno podía acceder a ellas en cualquier momento.

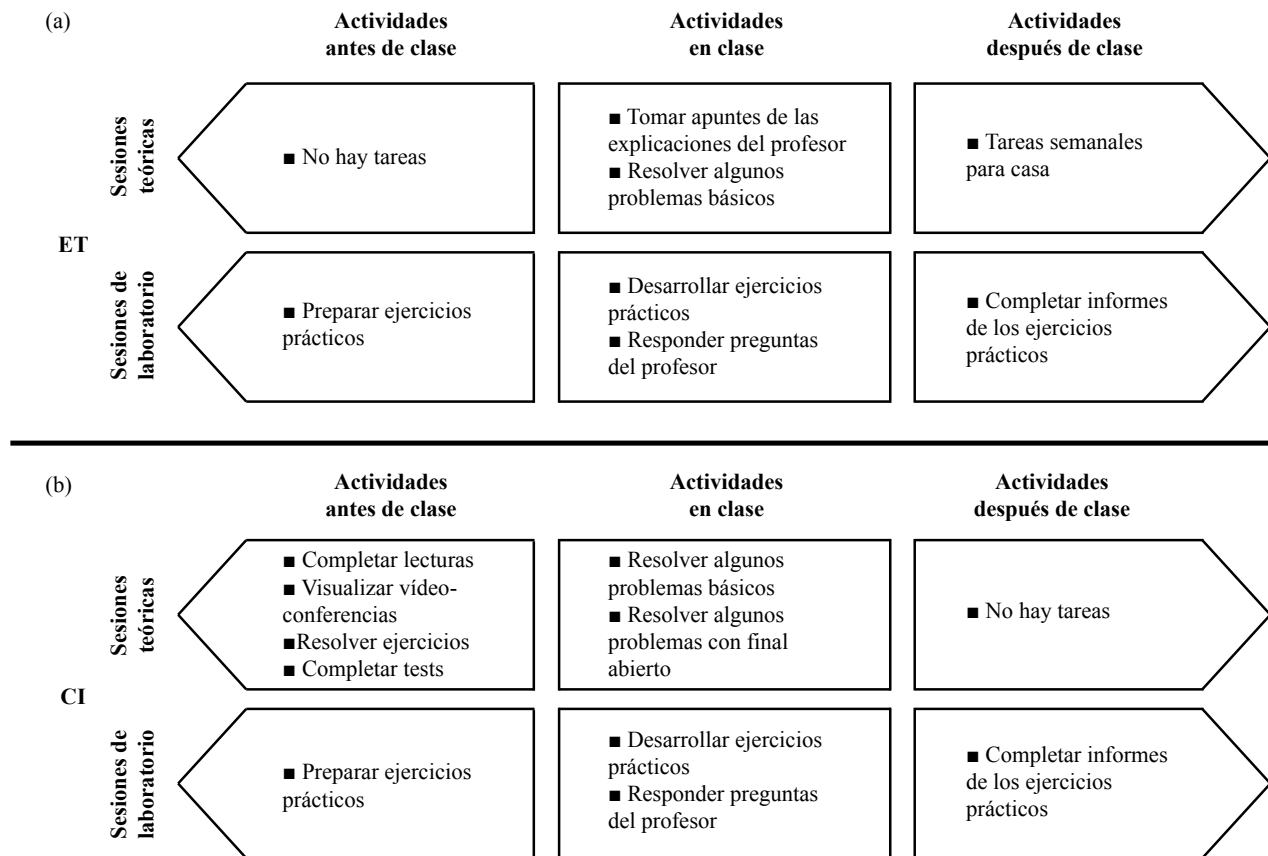


Figura 1. Distribución de las actividades llevadas a cabo en la metodología de Enseñanza Tradicional (a) y en la de Clase Invertida (b).

Un día antes de la primera sesión de clase de cada semana, se les pide a los alumnos que completen varios cuestionarios online. Los cuestionarios para cada tema se obtuvieron directamente, con pequeñas modificaciones, de la sección de autoevaluación de algunos libros de texto [11]. Estos cuestionarios se realizaron de forma telemática a través de Moodle, de tal manera que los resultados obtenidos pudieran planificar los contenidos y tiempo de refuerzo en la siguiente clase teórica. A menudo, las puntuaciones de los estudiantes en estos test, reflejaron conceptos difusos que fueron explicados durante los primeros minutos de clase. Por otro lado, el tiempo ahorrado en clases magistrales por la preparación previa de los alumnos, se empleó en la resolución de una amplia variedad de problemas relacionados con cada tema. Estos problemas fueron los mismos que se usaron durante el año anterior en el modelo de ET. Sin embargo, en esta ocasión, la dinámica de clase fue distinta, después de un corto período de tiempo, el profesor pidió aleatoriamente a un estudiante que compartiera su solución. Seguidamente, el resto de estudiantes verificaron si la solución era correcta o bien propusieron una alternativa en el caso de que fuera errónea. En este último caso, se discutían diferentes revisiones de la solución al problema, hasta alcanzar la solución más óptima. Finalmente se clarificaban los conceptos más relevantes para la resolución del problema.

Por otro lado, para mejorar algunas habilidades transversales,

tales como el pensamiento crítico y el trabajo en equipo, los alumnos trabajaron en algunos problemas abiertos, en grupos no permanentes de entre dos y tres personas. Se excluyó la posibilidad de formar grupos estables, debido a que las clases teóricas no son obligatorias y, por lo tanto, tampoco la asistencia a las mismas. Esta regulación es común a todos los grados dentro de la UCLM. Sin embargo, se animó a los estudiantes a desarrollar buenas habilidades interpersonales de trabajo en equipo, a través de las siguientes actividades:

- Reflexiones cortas e individuales sobre el problema.
- Tormenta de ideas en grupo y discusión sobre potenciales soluciones al problema.
- Trabajo iterativo en grupo sobre la solución acordada.

Además, la naturaleza intrínseca de los problemas abiertos requiere que el alumnado asimile la interconexión entre diferentes conceptos, para así estimular el pensamiento crítico [14]. En este sentido, un problema propuesto cerca del final del curso consistió en el diseño de un sistema de control de semáforo. En primer lugar, los estudiantes debían pensar en el diagrama de estados y en los requerimientos temporales del sistema, para después, gestionando satisfactoriamente la señal de reloj, diseñar los circuitos de sincronización y, por último, derivar y simplificar la lógica combinacional. Este tipo de problemas se extrajeron mayoritariamente de libros de texto [11], [13], facilitando esta tarea clave en la aplicación eficaz

de una metodología basada en la CI [13].

IV. EVALUACIÓN DEL ESTUDIO

En primer lugar, los estudiantes matriculados en la asignatura *Electrónica Digital* en los dos cursos fueron evaluados en términos de créditos ECTS conseguidos y notas finales de las asignaturas previamente superadas. Aunque todos los estudiantes habían cursado las mismas asignaturas de primer curso, antes de llegar a *Electrónica Digital*, analizar el punto de partida para cada método de enseñanza es importante para obtener una comparación justa. Como se mencionó anteriormente, en la UCLM la asistencia no está tipificada como obligatoria y no contabiliza para la calificación final de la asignatura, por lo que este indicador se utilizó exclusivamente para la evaluación del atractivo de la asignatura de cara al alumnado. Se contabilizó la asistencia vía Moodle, de tal forma que la recogida de este marcador quedó informatizada para facilitar su posterior análisis estadístico. Del mismo modo, los estudiantes tuvieron que rellenar una plantilla online semanalmente, en el que cada uno de forma individual reflejaba el número de horas dedicadas a la asignatura. Así, se calculó el número global de horas invertidas en el total del curso por parte de los estudiantes, incluidas las dedicadas a los trabajos en casa y la preparación de las prácticas, dependiendo de la metodología empleada.

Por otro lado, el rendimiento de los estudiantes se evaluó analizando los ratios de aprobados, suspensos y abandonos. Después, se analizaron las calificaciones promedio de las actividades antes de clase o los trabajos en casa, las prácticas de laboratorio y el examen final de la asignatura. Las calificaciones de los abandonos se sacaron fuera del cómputo para una comparación de las metodologías lo más justa posible. El último parámetro a comparar entre los dos métodos es la carga de trabajo del instructor. Así, para cada curso, el profesor hizo anotaciones muy concretas acerca del tiempo invertido en la preparación de ambas metodologías.

Finalmente, se evaluó la normalidad y homocedasticidad de los datos recopilados, usando los test estadísticos de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Para los marcadores que superaron los test paramétricos, se calcularon las diferencias estadísticas entre las metodologías a través de un test de Student, mientras que para los datos que mostraron una distribución no normal o no homocedástica se utilizó una prueba U de Mann-Whitney. En el caso de variables categóricas, se utilizó un test de chi-cuadrado de Pearson para evaluar la significación de los datos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V-A. Descripción de las características de los estudiantes

Un total de 58 estudiantes a tiempo completo participaron en el experimento. La Tabla I muestra la distribución de estos estudiantes para cada curso y método docente, así como los ECTS conseguidos y calificaciones globales del primer año. Cabe destacar, que los alumnos que se encontraban repitiendo la asignatura fueron automáticamente descartados del estudio, pues ya poseían conocimientos previos de los contenidos y

Cuadro I
CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS ALUMNOS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO Y SU RENDIMIENTO ACADÉMICO DURANTE EL PRIMER AÑO

	Metodología docente		$\rho - value$
	ET	CI	
Estudiantes	28	30	–
Mujeres	11.22 %	10.45 %	0.891
ECTS conseguidos	48.00±8.31	48.69±8.12	0.455
Calificaciones promedio †	5.84±0.71	5.88±0.92	0.651

† Las calificaciones promedio se definen en el intervalo [0-10].

podrían sesgar el estudio. Como se puede observar, no se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de mujeres cursando la asignatura en ambos cursos ($\rho = 0.891$). De la misma forma, los test de Student y Kruskal-Wallis no mostraron diferencias en el número de créditos conseguidos en el primer año ($\rho = 0.455$) y las calificaciones globales medias para cada curso ($\rho = 0.651$), para los dos esquemas de metodología docente. Por lo tanto, se podría considerar que los alumnos de ambos cursos presentaban características similares.

V-B. Tasa de asistencia del alumnado

La Figura 2 muestra la distribución de la asistencia del alumnado a lo largo de las 13 semanas en las que se impartió clase, durante los dos cursos académicos en estudio. Como se puede observar, apenas se aprecian diferencias entre los cursos durante las primeras semanas, donde más del 90 % de los estudiantes asistieron a clase. Sin embargo, a medida que fue transcurriendo el tiempo, se puede observar un decrecimiento gradual que resulta más notable para el esquema de ET. Por otro lado, la tendencia casi constante de la metodología de CI sugiere que este método es más efectivo que los esquemas de ET cuando se quiere mantener a los estudiantes motivados y comprometidos durante el curso. Este resultado es especialmente relevante, ya que como se comentó anteriormente, la asistencia no es un ítem evaluable para la nota final de las asignaturas. Estadísticamente, las diferencias de asistencia para los dos cursos fueron evaluadas a través de un test no paramétrico de Kruskal-Wallis, resultando diferencias significativas entre las metodologías de ET y CI ($\rho = 0.015$). Estos resultados están en línea con otros estudios anteriores, que mostraron efectos similares. Así, Chen et al. [16] observó que la asistencia a clases en redes de computadores, que se impartían de manera síncrona online, mejoraba cuando se utilizaba una metodología de CI, frente a los esquemas de ET. Del mismo modo, Debiec [7] manifestó que un mayor porcentaje del alumnado se sentía más atraído por sus clases cuando utilizaba metodologías centradas en el alumno. Estos resultados podrían sugerir que el desarrollo de actividades colaborativas, tratando con problemas abiertos del mundo real que se llevan a cabo en las metodologías de CI, podrían fomentar el aprendizaje de los alumnos a través de una mejor capacidad para conectar conceptos y construir conocimiento [17].

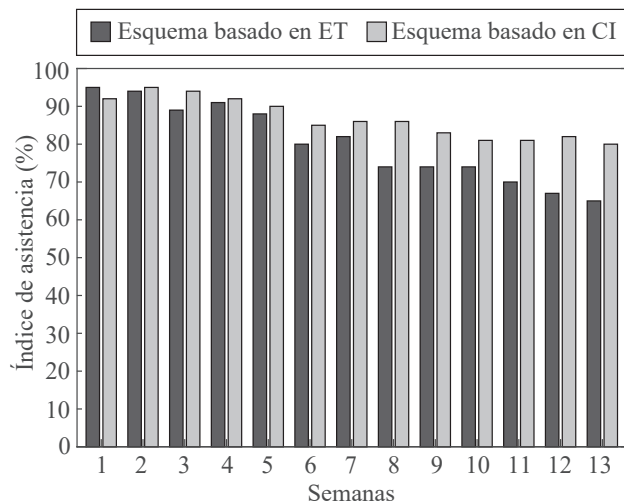


Figura 2. Porcentaje promedio de asistencia a clase para cada semana docente.

V-C. Carga de trabajo del alumnado

Como se comentó anteriormente, la información del número de horas dedicadas por semana se recogió vía Moodle cuando los alumnos subieron los trabajos en casa o las actividades antes de clase, dependiendo del curso académico. La mayoría de los alumnos que abandonaron el curso antes de su finalización no subieron esta información. La información recogida reveló que las horas dedicadas por los alumnos fuera de clase eran muy parecidas, sin importar la metodología docente utilizada. La Figura 3(a) muestra el número de horas promedio dedicadas por los alumnos para cada esquema de enseñanza. Como se puede observar, ambos grupos están muy solapados, no observándose grandes diferencias entre ellos ($\rho = 0.832$). Esta información contrasta completamente con estudios publicados anteriormente, en las que se expone que las metodologías basadas en CI necesitan un mayor esfuerzo del alumnado fuera de clase que los esquemas basados en ET [18]. No obstante, también se ha mostrado anteriormente, que las metodologías basadas en CI son muy eficientes, permitiendo dar el mismo contenido incluso en menos tiempo [19]. De este modo es posible pensar que los estudiantes no tienen que hacer un esfuerzo extra fuera de clase cuando se usa una metodología de CI, siempre que se mantenga el contenido del curso.

V-D. Calificaciones de los estudiantes

La Figura 3(b1) muestra las calificaciones de los alumnos en las tareas en casa o actividades antes de clase, según el esquema de enseñanza. Como se puede observar, hay una clara diferencia entre las dos metodologías, quedando la CI notoriamente perjudicada en cuanto a calificaciones ($\rho < 0.001$). Se puede concluir, que a pesar de utilizar un tiempo considerable leyendo materiales docentes y viendo videos, los estudiantes no lograron entender algunos conceptos fuera de clase, pero es necesario considerar estos resultados con cautela dado que la naturaleza y el enfoque de estas dos metodologías es diferente, tal y como se ha comentado anteriormente.

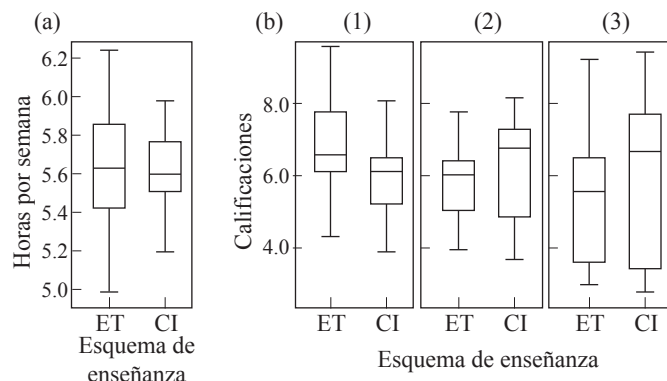


Figura 3. Diagramas de cajas y bigotes que resumen el número de horas semanales que los estudiantes dedican al estudio y las calificaciones obtenidas para los dos esquemas de enseñanza. (a) Número total de horas a la semana. (b1) Calificaciones en los trabajos en casa o actividades antes de clase. (b2) Calificaciones en los experimentos prácticos. (b3) Calificaciones en el examen final.

Por otro lado, las calificaciones obtenidas en los experimentos prácticos mostraron una tendencia opuesta a la anterior, tal y como puede observarse en la Figura 3(b2). A pesar de que las prácticas de laboratorio se mantuvieron exactamente iguales para los dos cursos, las calificaciones bajo el esquema de enseñanza de CI son notablemente superiores que para la metodología de ET ($\rho < 0.001$). El desarrollo de muchas actividades de trabajo en equipo mejoró claramente esta habilidad bajo el esquema de CI.

Por último, se puede observar en la Figura 3(b3), que en promedio, las calificaciones del examen final bajo el esquema de enseñanza de CI son superiores a las de la metodología de ET ($\rho = 0.004$). A pesar de ello, se puede observar bastante dispersión en las calificaciones en el caso de la metodología de CI. La causa más probable de las bajas calificaciones obtenidas en este esquema de enseñanza puede deberse a que parte del alumnado no se adaptó bien a las actividades que lleva consigo esta metodología, como se puede apreciar por las bajas calificaciones de las actividades antes de clase. En consecuencia, un gran desafío de las metodologías activas centradas en los alumnos es ayudar a los estudiantes con bajo rendimiento a seguir adecuadamente el curso.

V-E. Carga de trabajo del instructor

Existe una idea generalizada de que la carga de trabajo que el profesor debe invertir en la preparación de las clases bajo el esquema de enseñanza de CI es significativamente mayor que en los esquemas de enseñanza tradicional [20]. Sin embargo en el presente estudio, los datos no avalaron tal percepción, dado que el número de horas invertidas por el profesor para la preparación de cada clase fue de 4.51 ± 0.89 y 4.77 ± 0.91 ($\rho = 0.537$) para los esquemas de ET y CI, respectivamente. Es importante destacar que esta comparación podría no estar completamente libre de sesgo, pues el mismo profesor que había impartido durante varios cursos la asignatura a través del método de ET, fue el que preparó las clases siguiendo el esquema de CI. A pesar de ello, sigue pareciendo razonable

pensar que el uso de material docente ya disponible en libros de texto e internet tienen un impacto directo sobre este resultado. Efectivamente, la actividad que más esfuerzo conlleva en términos de tiempo es la creación de material audiovisual [19], pero en este experimento, la mayoría de los videos fueron producidos por otras instituciones. Por lo tanto y en vista de los resultados globales obtenidos en el curso con la metodología de CI, parece recomendable el uso de vídeos disponibles en internet, cuidadosamente seleccionados, para facilitar la implementación de esta metodología [14].

V-F. Limitaciones

Finalmente, es necesario resaltar algunas limitaciones del estudio. Primero de todo, dado que la carga de trabajo fue facilitada directamente por los estudiantes, esta información puede no ser del todo precisa y de confianza. De la misma forma, aunque el instructor que impartió los cursos siempre intentó diseñar actividades y materiales de alta calidad, su percepción podría verse alterada subjetivamente por su carga de trabajo total en cada momento concreto. Finalmente, aunque no se encontraron diferencias significativas en la carga de trabajo del instructor, hay que tener en cuenta que al tratarse del mismo profesor, ya existía una experiencia previa en la asignatura, que podría estar sesgando este resultado.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha llevado a cabo una comparativa entre un esquema de enseñanza tradicional y de clase invertida en una asignatura introductoria de *Electrónica Digital*. Además, se ha analizado con datos objetivos el impacto de las clases invertidas y los experimentos prácticos. El esquema de enseñanza basado en la clase invertida ha demostrado ser más efectivo para motivar a los estudiantes durante el curso, además de proporcionar un mejor entendimiento de los conceptos básicos de la asignatura, así como mejorar las habilidades transversales de los alumnos, tales como el pensamiento crítico y el trabajo en equipo. Los estudiantes han manifestado sentirse más atraídos por este esquema de enseñanza, ya que utiliza la mayor parte del tiempo de clase a la resolución de problemas abiertos, además de la retroalimentación constante obtenida del profesor. A pesar de los resultados mostrados en otros trabajos, en este estudio la preparación de las clases invertidas no ha supuesto un incremento notable de la carga de trabajo del profesor.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud a todos los estudiantes que participaron en el estudio.

REFERENCIAS

- [1] D. Schaefer, J. H. Panchal, J. Lane Thames, S. Haroon, and F. Mistree, "Educating engineers for the near tomorrow," *International Journal of Engineering Education*, vol. 28, no. 2, pp. 381–396, 2012.
- [2] M. J. Riemer, "Communication skills for the 21st century engineer," *Global J. of Engng. Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 89–100, 2007.
- [3] J. B. Biggs, *Teaching for quality learning at university: What the student does*. McGraw-Hill Education, 2011.
- [4] E. T. Pascarella, T. A. Seifert, and C. Blaich, "How effective are the NSSE benchmarks in predicting important educational outcomes?" *Change: The Magazine of Higher Learning*, vol. 42, no. 1, pp. 16–22, 2010.
- [5] C. J. Finelli and J. E. Froyd, "Improving student learning in undergraduate engineering education by improving teaching and assessment," American Society of Engineering Education. Advances in Engineering Education, Tech. Rep., June 2019.
- [6] C. V. Carvalho, M. Caeiro, H. Tsalapatas, O. Heidmann, K. Pata, and T. Jesmin, "Active learning in engineering. European project to foster the uptake of new teaching methodologies," Erasmus+ Programm of the European Union, Tech. Rep., 2019.
- [7] P. Debiec, "Effective learner-centered approach for teaching an introductory digital systems course," *IEEE Transactions on Education*, vol. 61, no. 1, pp. 38–45, 2018.
- [8] A. S. Palincsar and L. R. Herrenkohl, "Designing collaborative learning contexts," *Theory into Practice*, vol. 41, no. 1, pp. 26–32, 2002.
- [9] J. L. Bishop, M. A. Verleger et al., "The flipped classroom: A survey of the research," in *ASEE National Conference Proceedings*, vol. 30, no. 9, 2013, pp. 1–18.
- [10] R. L. Hughes and S. K. Jones, "Developing and assessing college student teamwork skills," *New Directions for Institutional Research*, vol. 2011, no. 149, pp. 53–64, 2011.
- [11] T. L. Floyd, *Digital fundamentals: A systems approach*. Pearson, 2013.
- [12] J. F. Wakerly, *Digital Design: Principles and Practices*. Prentice Hall, 2005.
- [13] W. Kleitz, *Digital Electronics: A practical approach with VHDL*. Prentice Hall, 2011.
- [14] G. Akçayır and M. Akçayır, "The flipped classroom: A review of its advantages and challenges," *Computers & Education*, vol. 126, pp. 334–345, 2018.
- [15] K. Yelamarthi and E. Drake, "A flipped first-year digital circuits course for engineering and technology students," *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 3, pp. 179–186, 2015.
- [16] Y. Chen, Y. Wang, N.-S. Chen et al., "Is FLIP enough? Or should we use the FLIPPED model instead?" *Computers & Education*, vol. 79, pp. 16–27, 2014.
- [17] M. B. Gilboy, S. Heinerichs, and G. Pazzaglia, "Enhancing student engagement using the flipped classroom," *Journal of Nutrition Education and Behavior*, vol. 47, no. 1, pp. 109–114, 2015.
- [18] J. Khanova, M. T. Roth, J. E. Rodgers, and J. E. McLaughlin, "Student experiences across multiple flipped courses in a single curriculum," *Medical Education*, vol. 49, no. 10, pp. 1038–1048, 2015.
- [19] G. S. Mason, T. R. Shuman, and K. E. Cook, "Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course," *IEEE Transactions on Education*, vol. 56, no. 4, pp. 430–435, 2013.
- [20] T. Wanner and E. Palmer, "Personalising learning: Exploring student and teacher perceptions about flexible learning and assessment in a flipped university course," *Computers & Education*, vol. 88, pp. 354–369, 2015.

Plataforma de desarrollo de bajo coste para implementar circuitos digitales en FPGAs mediante hardware y software libre

Albert Saiz-Vela, Pau Fontova, Tomàs Pallejà, Marcel Tresanchez, Juan Antonio Garriga, Concepció Roig
 Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial
 Escola Politècnica Superior, Universitat de Lleida (UdL)
 Lleida, Spain
 albert.saiz@udl.cat

Resumen—La implementación práctica de sistemas digitales en las sesiones de laboratorio de la asignatura de electrónica digital (y afines) puede realizarse mediante circuitos integrados (CIs) monolíticos (series TTL 7400 o CMOS 4000, por ejemplo) o mediante dispositivos de hardware reconfigurable como son las FPGAs. En la primera opción, los estudiantes suelen tener dificultades asociadas al proceso de montaje y testeo debido al gran número de conexiones cableadas que hay que implementar, mientras que, en la segunda, las dificultades suelen estar asociadas al acceso limitado y/o restringido que los estudiantes tienen para poder utilizar las placas de desarrollo hardware y el software para programarlas, ya que acostumbran a estar en el laboratorio y no siempre están a su disposición. Para intentar superar ambas problemáticas, este trabajo presenta una plataforma de desarrollo de bajo coste para la implementar circuitos digitales en FPGAs que: 1) es fácilmente replicable, 2) minimiza el número de conexiones cableadas y 3) está basada en el uso de herramientas de hardware y software libre. El objetivo que se pretende conseguir mediante esta estrategia metodológica es que los estudiantes puedan disponer en su casa de los recursos necesarios para que puedan practicar en el uso de las FPGAs sin ninguna limitación espacio-temporal y focalicen su atención en los aspectos teórico-funcionales de los circuitos y sistemas diseñados dejando en un segundo plano (pero sin obviarlos) los aspectos asociados a los procesos de montaje, cableado y test.

Palabras clave—FPGA, electrónica digital, Verilog, Software y Hardware de código abierto / libre.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de aprendizaje “clásico” de los estudiantes de un grado de ingeniería en relación con las asignaturas que contienen conceptos asociados a la electrónica digital se ha basado tradicionalmente en el uso de simuladores lógicos y su posterior implementación física para verificar que los resultados simulados se ajustan a los resultados experimentales obtenidos. Este ha sido el proceso que se ha llevado a cabo en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de nuestra Universidad en los últimos 25 años. En nuestro caso, la implementación práctica de los circuitos y sistemas digitales propuestos en las actividades de laboratorio de la asignatura de electrónica digital (y afines) se ha realizado históricamente mediante el uso de circuitos integrados monolíticos como los de las series TTL 7400 o CMOS 4000, cables de conexión y el uso de placas de prototipado (más conocidas como *protoboards*). Este enfoque didáctico permite la reutilización del material, el coste es muy bajo, la curva de aprendizaje en relación a los procesos de montaje y testeo de los circuitos es rápida, es una metodología que ya suele ser conocida por nuestros estudiantes al realizar las prácticas de la asignatura de electrónica digital (ya que han trabajado utilizando el mismo enfoque en otras asignaturas del

currículum en cursos inferiores: fundamentos de ingeniería electrónica, teoría de circuitos, etc...) y permite que nuestros estudiantes tengan la percepción que su aprendizaje es significativo y aprendan mediante el paradigma del “*learning by doing*” ya que el objetivo al finalizar las sesiones prácticas de laboratorio es que hayan podido diseñar e implementar físicamente un sistema digital (combinacional y secuencial). Sin embargo, a pesar de las ventajas de esta metodología, ciertamente presenta algunas dificultades asociadas al proceso de montaje y testeo, tal y como explicitan sistemáticamente (frecuentemente en forma de queja) los estudiantes cada año durante la realización de las prácticas. Si el sistema digital necesita más de cinco circuitos integrados monolíticos para ser implementado, el número de cables necesarios para conectar todos los bloques lógicos suele ser muy elevado tal y como se muestra en la Fig. 1. Además, la posibilidad de cometer errores de conexión se incrementa a medida que aumenta la complejidad de los sistemas digitales y se van añadiendo circuitos integrados. En este caso, a menudo son necesarias las dos horas de una sesión de laboratorio para hacer todo el montaje de los circuitos y, a veces, una vez se ha montado, el circuito no funciona y es extremadamente difícil encontrar el error de montaje. El hecho de que los estudiantes pasen dos horas realizando una tarea rutinaria resta tiempo para que éstos puedan debatir y analizar con el profesor en el laboratorio cuestiones relacionadas con el diseño y funcionamiento del circuito.

Una posibilidad para solucionar esta problemática es la implementación de los circuitos mediante el uso del hardware reconfigurable de las FPGAs (*Field Programmable Gate Array*) donde las conexiones entre bloques digitales se hacen internamente en el propio circuito integrado. De hecho, en muchas universidades y escuelas de ingeniería de todo el mundo, la implementación práctica de los sistemas digitales en las sesiones de laboratorio se realiza mediante esta opción [1]-[7]. Históricamente el mercado de las FPGAs ha estado dominado por tres fabricantes: Xilinx®, Altera® - adquirida por Intel® - y en menor medida Lattice Semiconductor® [8]. Este hecho ha provocado que las placas de desarrollo educa-

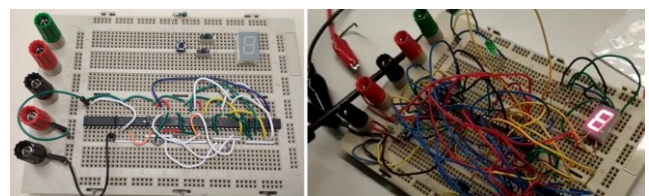


Fig. 1. Evolución de la implementación en el laboratorio de un sistema digital de complejidad media-alta mediante el uso de circuitos integrados monolíticos, cableado y protoboard.

cionales de estos fabricantes tengan un coste elevado. No obstante, aunque existen opciones “económicas” de kits/placas de desarrollo elaboradas por otras compañías a precios asequibles (de 70 € a 135 € por unidad en función del modelo de placa) como las placas DE0-Nano y Altera DE0 de Terasic ® [9] con FPGAs de Intel ® o las placas Basys 2 Spartan-3E y Basis 3 Artix-7 de Digilent ® [10] con FPGAs de Xilinx ®, su uso normalmente requiere que los estudiantes utilicen un software privativo/proprietario para programar la FPGA que suele requerir el registro previo en la web del fabricante de la FPGA para poder obtener una licencia gratuita para fines educativos y poder utilizar el software de forma gratuita en algunos modelos concretos de FPGA.

Tradicionalmente el ecosistema alrededor de las FPGAs ha sido un entorno basado en soluciones de software propietarias de código privativo y hardware cerrado. Sin embargo, la influencia del movimiento *maker*, que desde el año 2005 aboga por el uso de tecnologías libres y abiertas, tanto a nivel de código como a nivel de hardware, es cada vez mayor en el ámbito tecnológico, industrial y académico. El éxito rotundo de plataformas *low-cost* como Arduino, Raspberry Pi, las impresoras 3D y las placas de sensores y/o actuadores alrededor de estas tres plataformas, y la aparición de una amplia comunidad de ingenieros, científicos, estudiantes y aficionados *makers* que comparten libremente a través de internet el conocimiento, tanto a nivel de código como a nivel de diseño hardware, está cambiando el paradigma del desarrollo hardware ya sea en el ámbito educativo, empresarial y/o en el ámbito de la investigación que se realiza en las escuelas de ingeniería.

Las FPGAs no ha sido inmunes a la influencia del tsunami provocado por el movimiento *maker*. En 2015, la ingeniera austriaca Claire Wolf (anteriormente conocida como Clifford Wolf) desarrolló mediante técnicas de ingeniería inversa un conjunto de herramientas de software capaz de programar los modelos FPGA iCE40 LP/HX 1K/4K/8K del fabricante Lattice Semiconductor ® y creó el proyecto IceStorm [11] donde obtuvo la primera *toolchain* de código libre que permitió programar una FPGA. Si bien en el ambiente *maker* estas FPGAs son conocidas como FPGAs libres, el concepto de “libre” es en este caso discutible, ya que Lattice Semiconductor ® no ha liberado ninguna información sobre la estructura interna de sus FPGAs, su formato de bitstream para poder programarlas, etc.... No obstante, tampoco ha puesto ningún impedimento legal para poder utilizar sus FPGAs con la *toolchain* del proyecto IceStorm. De hecho, no solo no ha retirado del mercado las FPGAs de la familia iCE40, sino que para Lattice Semiconductor ®, la aparición del proyecto IceStorm ha supuesto un aumento de popularidad significativo (intuimos que también en ventas) siguiendo el mismo proceso que supuso para los microcontroladores ATmega de Atmel ® (adquirida por Microchip ®) la aparición de la plataforma Arduino [12].

Así pues, la irrupción de una *toolchain* libre que permite programar FPGAs coincidiendo en el tiempo con el auge del movimiento *maker*, ha provocado la reciente aparición de numerosos proyectos alrededor de las FPGAs de la familia iCE40 siguiendo el paradigma del hardware libre y el software de código abierto. Proyectos donde se dispone de toda la información en relación al diseño hardware (esquemas, firmware, ficheros gerber de fabricación PCB, *Bill of Materials*, etc...) para poderlos replicar, modificar, compartir, etc.... y que, en algunos casos, han desembocado en la

creación de pequeñas placas de entrenamiento con conectores de expansión que puede ser adquiridas de forma comercial a un precio muy competitivo (entre 35-60 €, IVA incluido). Es en este contexto donde han aparecido placas de entrenamiento como las Icezum Alhambra II, tinyFPGA, iCEBreaker, icoBoard, Upduino, BlackIce Mx, la iCE40HX8K-EVB, etc...[13].

Si nos centramos en las motivaciones que aparecen en la literatura recientemente publicada [14] para utilizar soluciones de software y hardware libre en el ámbito educativo, éstas son recurrentes: 1) se mejora la metodología docente ya que puede proveerse a los estudiantes de recursos para que puedan entender los conceptos abstractos asociados a la ciencia y a la ingeniería, 2) se reducen los costes ya que las tecnologías abiertas y libres tienden a ser más baratas que sus alternativas propietarias de forma que los costes de los laboratorios de prácticas disminuyen (un hecho especialmente favorable para las universidades de países subdesarrollados y/o con pocos recursos económicos), 3) los diseños hardware son libremente compartidos sin tener que pagar ninguna licencia por su uso, 4) se incrementa la creatividad y el interés de los estudiantes ya que pasan de un rol pasivo de usuarios tecnológicos a un rol activo de *makers* y 5) es posible el uso de los recursos hardware más allá del laboratorio en la universidad ya que éstos pueden ser adquiridos por los estudiantes a un bajo precio y/o incluso pueden ser desarrollados y fabricados por ellos mismos. De hecho, cada vez son más las universidades y escuelas de ingeniería que utilizan dichos recursos libres para implementar sus prácticas docentes en diferentes ámbitos y asignaturas [14]-[20]. Teniendo en cuenta estos argumentos y considerando, además, el bajo precio de adquisición que tienen algunas de las pequeñas placas de entrenamiento libres previamente mencionadas, se decidió apostar por el ecosistema de hardware y software libre para realizar la plataforma de desarrollo de bajo coste que se presenta en este trabajo. Este hecho no significa que consideremos “mejor” el uso de herramientas libres sobre las privativas para programar FPGAs (desde el punto de vista estrictamente pedagógico). Sin embargo, creemos y que el uso de herramientas libres para la programación de FPGAs puede suponer, en el ámbito educativo, un impacto similar al que ha tenido la plataforma Arduino [21] en la programación de microcontroladores.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma: la Sección II describe el funcionamiento de la *toolchain* del proyecto IceStorm y muestra el conjunto de herramientas libres que permiten implementar fácilmente un sistema digital en las FPGAs de la familia iCE40, la Sección III muestra las características de la pequeña placa de entrenamiento con conectores de expansión que ha sido utilizada como núcleo de nuestra plataforma de desarrollo, la Sección IV muestra las características de la plataforma de desarrollo y un ejemplo de implementación de un sistema digital de complejidad media. Finalmente, la Sección V muestra la aplicación de la plataforma de desarrollo en una sesión de laboratorio real y los resultados de una encuesta realizada a nuestros estudiantes para poder analizar de forma preliminar el impacto de nuestra propuesta en su proceso de aprendizaje.

II. EL PROYECTO ICESTORM Y EL ECOSISTEMA DE SOFTWARE/HARDWARE LIBRE EN EL ÁMBITO DE LAS FPGAs

La *toolchain* del proyecto IceStorm permite mediante una secuencia preestablecida de órdenes y programas sintetizar, implementar (*place and route*) y grabar los ficheros bitstream

en la FPGA tal y como se muestra en la Fig. 2. La síntesis se realiza mediante el programa *Yosis*, que es el encargado de convertir código de descripción hardware en lenguaje Verilog (*.v) a una *netlist* en formato BLIF (Berkeley Logic Interchange Format) (*.blif). La implementación (*place and route*) se realiza mediante el programa *nextpnr* que acepta como entradas ficheros en formato BLIF y genera un fichero en formato ASCII (*.asc) que contiene bloques de 0 y 1 para los bits de configuración de cada celda de la FPGA. Finalmente, el programa *icepack* convierte el fichero en formato ASCII generado por el programa *nextpnr* en un fichero binario (*.bin) y el programa *iceprog* permite grabar la información binaria en la FPGA. Cabe destacar que, aunque actualmente el programa *Yosis* únicamente permite realizar la síntesis mediante el uso del lenguaje de descripción hardware Verilog, los ingenieros Tristan Gingold y Pepijn De Vos están trabajando en el desarrollo de un *plug-in* que permita al programa *Yosis* sintetizar circuitos descritos mediante el lenguaje VHDL, aunque hay que remarcar que el estado del proyecto todavía está en una fase *beta* experimental [22].

En la Fig. 3 se muestra la placa de entrenamiento que ha sido utilizada en este trabajo como núcleo de la plataforma desarrollo de bajo que se presente en este trabajo: la placa Icezum Alhambra II diseñada y fabricada por la empresa española AlhambraBits® [23]. El coste de la placa (60 €, IVA incluido), las facilidades para poder adquirirla, la disponibilidad de stock y sus características técnicas han sido motivos determinantes a la hora de escogerla como opción preferente respecto otras placas.

Otro de los factores que ha provocado la popularidad y el aumento del interés en las FPGAs de la familia iCE40 (y sus placas de entrenamiento) ha sido la posibilidad de utilizar la *toolchain* libre del proyecto IceStorm mediante el editor visual de esquemas Icestudio [24] que es un proyecto de software libre desarrollado y financiado inicialmente en el año 2016 por la empresa BQ® y que a partir de 2017 viene siendo desarrollado y mantenido de forma altruista por la comunidad maker #FPGAWars liderada por Juan Gonzalez-Gomez (más conocido como @Obijuan) [25]. El editor Icestudio permite diseñar sistemas y bloques digitales complejos a partir de puertas lógicas básicas y dispositivos combinacionales y/o secuenciales simples (multiplexores, codificadores, decodificadores, flip-flops, etc...) de forma que se puede ir

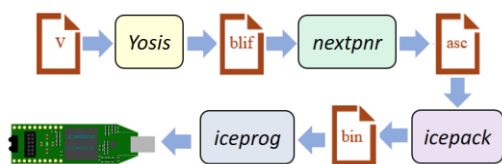


Fig. 2. Toolchain libre del proyecto IceStorm.



Fig. 3. Placa Icezum Alhambra II de la empresa AlhambraBits®.

incrementando la complejidad de los bloques aplicando el paradigma de diseño hardware conocido como *bottom-up* hasta obtener el diseño del sistema digital completo, y, además, permite fácilmente la inclusión en el editor de esquemas de bloques diseñados con código Verilog embebido / integrado en el propio bloque. Esta última posibilidad es muy interesante a nivel docente ya que permite que se implementen los circuitos digitales mediante esquemas lógicos, mediante el lenguaje de descripción hardware Verilog o mediante una combinación de ambos tal y como se puede observar en la Fig. 4.

Una vez diseñado el circuito, el editor visual Icestudio internamente utiliza una llamada a la *toolbox* de software libre y multiplataforma Apio que permite verificar, sintetizar y cargar el diseño en la FPGA mediante la aplicación secuencial de los programas de la *toolchain* del proyecto IceStorm de forma transparente para el usuario [26]. Hay que remarcar que el editor visual de esquemas Icestudio es capaz de trabajar con un amplio número de placas de entrenamiento de FPGAs de la familia iCE40, entre ellas la que hemos escogido para este trabajo (Icezum Alhambra II). Este ha sido otro de los motivos determinantes para escoger esta placa de entrenamiento para el presente trabajo. En el caso de querer utilizar únicamente código Verilog para implementar los circuitos digitales y cargarlos en la FPGA directamente existe también la posibilidad de utilizar el entorno de desarrollo integrado Apio-IDE [27] que está basado en los proyectos de software libre Atom, Apio y PlatformIO tal y como se muestra en la Fig. 5. Finalmente, si se desea comprobar de forma simulada el correcto funcionamiento de los circuitos /bloques diseñados mediante el editor de esquemas Icestudio, existe la posibilidad de exportar el conjunto del sistema diseñado a código Verilog, generar los ficheros de *testbench* y mediante el simulador Icarus Verilog y el visor de señales GTKWave (ambos también software libre) generar y visualizar el cronograma correspondiente.

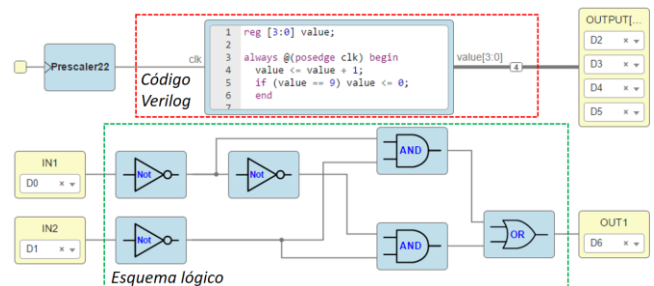


Fig. 4. Entorno de trabajo del editor visual de esquemas Icestudio (ejemplo de diseño realizado mediante la combinación de bloques implementados mediante esquemas lógicos y bloques código Verilog embebido).

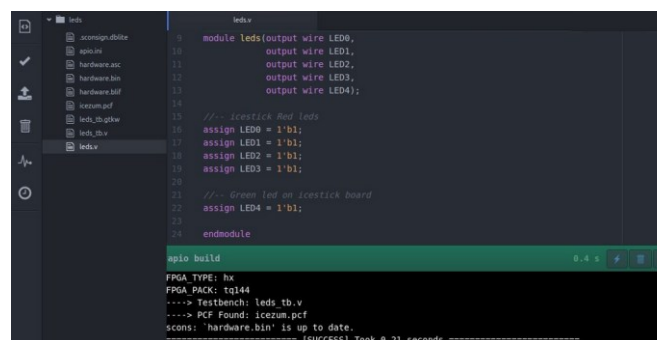


Fig. 5. Entorno de trabajo del editor integrado de desarrollo Apio-IDE (ejemplo de diseño implementado únicamente mediante código Verilog).

III. LA PLACA ICEZUM ALHAMBRA II

La Fig. 6 muestra el factor de forma y la distribución de pines de la placa de entrenamiento Icezum Alhambra II. Como se puede observar, el factor de forma de la placa Icezum Alhambra II y la distribución de pines de entrada/salida (E/S) coincide con el de la placa Arduino UNO [21]. Aunque este hecho pueda parecer una coincidencia sin importancia, en nuestro caso, se ha observado un especial interés por parte de los estudiantes al presentarles la placa Icezum Alhambra II y sus características. Creemos que, al ver por primera vez la placa Icezum Alhambra II, los estudiantes (especialmente aquellos que han tenido alguna experiencia con Arduino y su ecosistema de hardware abierto en etapas educativas inferiores como la secundaria) hacen una conexión directa entre ésta y la placa Arduino UNO y se sitúan en otro marco mental diferente al del de la típica (y aburrida) práctica de laboratorio de electrónica (que nunca sale bien) a la que suelen estar acostumbrados. Suponemos que las experiencias previas con el entorno del hardware libre han sido gratificantes y enriquecedoras para ellos (así lo indican cuando se les pregunta) y este hecho ayuda a que los estudiantes tengan una gran predisposición y atención para realizar los ejercicios prácticos de laboratorio mediante las FPGAs programables con herramientas libres. Cabe remarcar, además, que el hecho de compartir factor de forma y distribución de pines con la placa Arduino UNO permite la utilización de los numerosos *shields* del ecosistema Arduino, es decir, placas específicas de expansión que se conectan encima de la placa Arduino mediante los conectores de expansión y que añaden funcionalidades, periféricos, sensores, actuadores, etc...

La placa Icezum Alhambra II contiene una FPGA iCE40HX4K de Lattice Semiconductor®. Si esta FPGA se programa mediante el software privativo iCECube2® del fabricante, el número de celdas básicas lógicas programables (Look-Up-Tables + Flip Flop) disponibles es de 3520. Sin embargo, si se utiliza la *toolchain* libre del proyecto IceStorm el número disponible de celdas básicas lógicas asciende a 7680 que corresponden al modelo iCE40HX8K. Realmente lo que sucede es que la FPGA iCE40HX4K es internamente una iCE40HX8K (modelo superior) que tiene limitado el número de celdas básicas programables por el propio software del fabricante. El hecho de utilizar la *toolchain* libre del proyecto IceStorm permite saltarse la limitación impuesta por el fabricante y disponer del doble de celdas básicas de programa-

ción. Así pues, con las herramientas libres es posible sintetizar en una FPGA iCE40HX4K sistemas digitales mucho más complejos que si se hace con las herramientas privativas, ya que el número de celdas básicas lógicas programables disponible es el doble. La programación de la FPGA puede realizarse vía USB mediante la UART ya que dispone del controlador USB FTDI® 2232H.

A continuación, se enumeran las principales características técnicas de la placa Icezum Alhambra II:

- Interruptor ON/OFF para desconectar fácilmente los periféricos conectados a la placa.
- 8 LEDs SMD de propósito general (*LED0...LED7*).
- 2 pulsadores tipo *push-button* de propósito general (*SW1* y *SW2*).
- 32Mb de Memoria Flash para poder guardar hasta 30 bitstreams o datos del usuario.
- 20 pines de entrada / salida (E/S) (*D0...D13*, *A0...A3*, *DD4* y *DD5*) a 3.3 V (5 V tolerantes). Como entrada acepta niveles entre 3.3 V y 5V, como salida genera 3.3V.
- Resistencia de 200 Ω en serie en todos los pines de E/S para activación directa de LEDs.
- Conversor 12 bits A/D (4 canales)
- Los pines de selección de bitstreams para *cold boot* (a escoger entre 4 bitstreams que previamente hayan sido grabados en la memoria Flash) están accesibles mediante los pines de E/S de propósito general.
- Reguladores conmutados de 1A para las alimentaciones de 1.2 V y 3.3 V, lo que permite activar los PLLs y trabajar a velocidades mucho mayores.
- Oscilador MEMS de 12 MHz.
- Botón de reset tipo *push-button*.
- Alimentación de la placa mediante dos conectores USB (hasta 4.8 A máximos de entrada).
- Los pines de alimentación y E/S tienen protección permanente contra cortocircuito.

IV. LA PLATAFORMA DE DESARROLLO DE BAJO COSTE

Aunque la placa Icezum Alhambra II dispone de 8 LEDs de propósito general y 2 pulsadores tipo *push-button*, estos periféricos no son suficientes para poder llevar a cabo el tipo de prácticas que tradicionalmente hemos llevado a cabo en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de nuestra Universidad donde, normalmente, 1) se necesitan muchas más entradas de 1s y 0s mediante pulsador y/o interruptor (y la placa Icezum Alhambra II únicamente tiene dos pulsadores tipo *push-button* *SW1* y *SW2*) y 2) se requiere visualización de caracteres alfanuméricos mediante displays 7-segmentos (y la placa Icezum Alhambra II no dispone de ellos). Es verdad que se podría haber utilizado (aprovechando la compatibilidad de la placa Icezum Alhambra II con la placa Arduino UNO) alguno de los *shields* de bajo coste existentes en el mercado como por ejemplo los *shields* multifunción o similares que se muestran en la Fig. 7. Sin embargo, la utilización de dichos *shields* limita el uso de los pines de E/S de la FPGA y la crea-

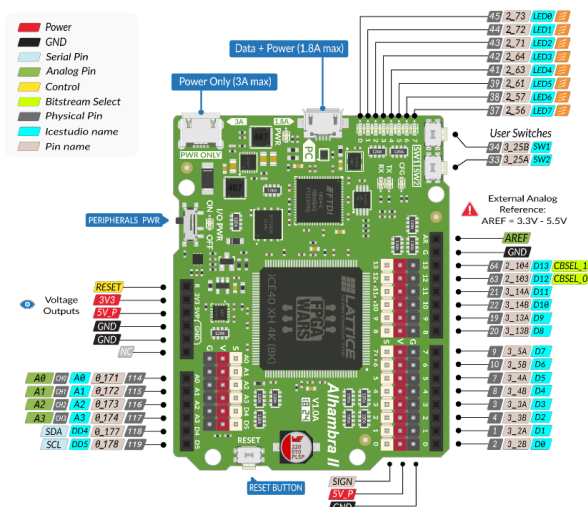


Fig. 6. Placa Icezum Alhambra II: factor de forma y distribución de pines.

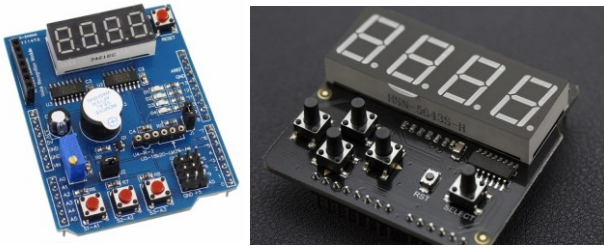


Fig. 7. Shields comerciales multifunción para placa Arduino UNO.

tividad y libertad a la hora de plantear un ejercicio práctico en el laboratorio ya que las conexiones entre los pines de E/S de la FPGA y los del *shield* viene predeterminada por el diseño hardware del *shield* en cuestión. Además, otro de los objetivos que ha perseguido este trabajo es que nuestros estudiantes dispongan de toda la información relacionada con la plataforma de desarrollo en un repositorio abierto (documentación, esquemas, firmware, ficheros gerber de fabricación PCB, *Bill of Materials*, etc...) siguiendo la filosofía de código abierto (software y hardware libre) que caracteriza al movimiento *maker*. De esta forma, aquellos estudiantes que quieran fabricarse su propia plataforma de desarrollo para poder practicar fuera de las horas de laboratorio tienen la posibilidad de fabricar su propia placa de circuito impreso (PCB) y soldar los componentes mediante el servicio de fabricación de PCBs del laboratorio de electrónica de nuestra Universidad (donde disponen de insoladora, taladros, ácidos, soldadores, etc...) o mediante la fabricación de la PCB en proveedores externos de bajo coste.

A. Características técnicas

Es por ello que para poder cumplir estos objetivos finalmente se ha optado por el diseño de una plataforma de desarrollo propia en forma de *shield* que cumple con las siguientes características:

- La placa de circuito impreso diseñada tiene unas dimensiones de 120 mm x 80 mm (compatible con placas emulsionadas de baquelita y/o fibra de vidrio comerciales de fácil adquisición y bajo coste).
- El diseño de la PCB ha sido realizado utilizando el software libre de diseño de circuitos impresos KiCAD [28] de forma que los estudiantes pueden utilizarlo para ver los diseños, fabricarlos, modificarlos, etc...sin coste alguno.
- El ruteado de la PCB ha sido realizado íntegramente mediante una sola cara (para facilitar el proceso de fabricación en el laboratorio y para reducir los costes de fabricación en caso de utilizar la opción del proveedor externo).
- Todos los componentes electrónicos utilizados son *through-hole* para facilitar el proceso de montaje y soldadura de los componentes por parte de los estudiantes.

La Fig. 8 muestra la placa de desarrollo diseñada y fabricada presentada en este trabajo. Como puede observarse, la placa de desarrollo se comporta mecánicamente como un *shield* de Arduino, es decir, se conecta a los conectores hembra de la placa Icezum Alhambra II de manera que la placa de desarrollo queda conectada como un *shield* encima de la placa Icezum Alhambra II. Contiene 4 pulsadores tipo push-button, dos interruptores tipo DIP deslizantes de 4 canales, un

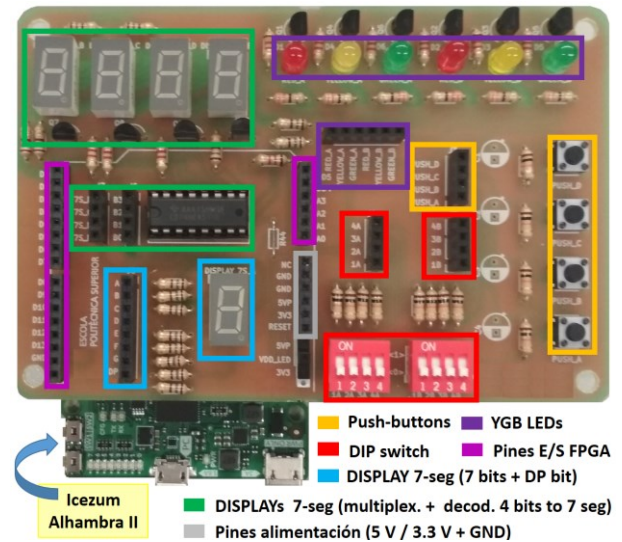


Fig. 8. Plataforma de desarrollo de bajo coste para la implementación de circuitos digitales en FPGAs mediante herramientas de hardware y software libres.

display de 7 segmentos controlado por 8 bits independientes (7 para los segmentos y 1 para el punto), 6 LEDs de colores (2 rojos, 2 verdes y 2 amarillos), 4 displays de 7 segmentos multiplexados, 20 pines accesibles de E/S de la FPGA y pines de alimentación (5V, 3.3 V y GND).

B. Ejemplo de funcionamiento

A continuación, se muestra un ejemplo del tipo de ejercicios (en este caso de complejidad media) que se pueden implementar mediante la plataforma de desarrollo presentada. La Fig. 9 muestra el esquema electrónico del sistema de multiplexación de los 4 displays de 7 segmentos de la placa de desarrollo. Como se puede observar, se trata de un bus de datos de 4 bits decodificados a 7 segmentos mediante el circuito integrado CD4511B y multiplexados mediante 4 transistores controlador mediante 4 bits de control. Imaginemos que se plantea un reto a los estudiantes y se les pide que diseñen un sistema digital que permita visualizar un número de 4 dígitos a través del sistema de los 4 displays de 7 segmentos donde el usuario deba introducir dos de los dígitos (unidades y decenas) codificados en binario mediante los dos interruptores DIP deslizantes de 4 canales mientras que las centenas y unidades de millar se encuentran prefijadas internamente en la FPGA. En la Fig. 10 se detalla una posible

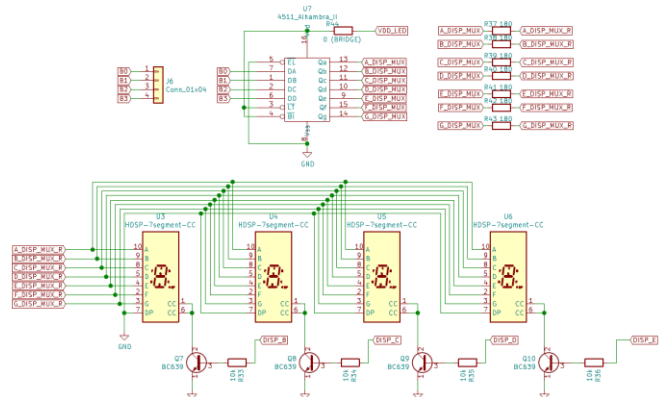


Fig. 9. Esquema electrónico del sistema de multiplexación de los 4 displays 7-segmentos de la plataforma de desarrollo de bajo coste.

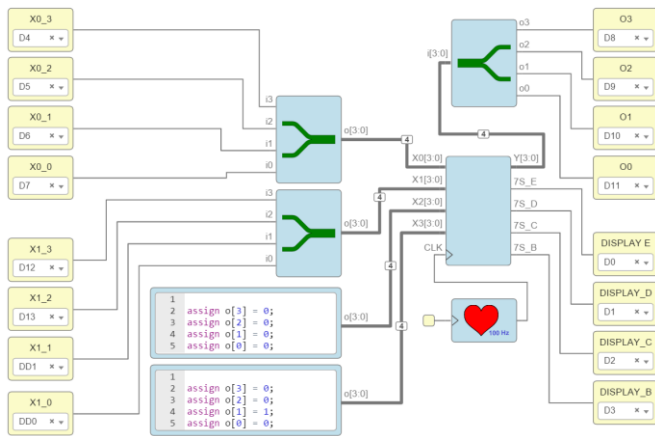


Fig. 10. Posible solución al reto planteado implementado mediante Icestudio donde se puede observar el bloque principal y asignación de los pines de E/S de la FPGA.

solución a este reto basada en la creación de un bloque principal con cuatro entradas de 4 bits ($X3[3:0]$, $X2[3:0]$, $X1[3:0]$ y $X0[3:0]$) que representan a cada uno de los 4 dígitos, 4 bits de salida ($7S_B$, $7S_C$, $7S_D$ y $7S_E$) sincronizados mediante una señal de reloj CLK que activan de forma cíclica uno de los 4 displays (dejando el resto inactivos) y una salida de 4 bits ($Y[3:0]$) sincronizada con la señal de reloj CLK y con los bits de selección que envía de forma cíclica al decodificador CD4511B cada uno de los 4 dígitos de las entradas. En este ejemplo, las centenas y unidades de millar se han prefijado a un valor de “0” y “2” respectivamente mediante dos pequeños bloques con código Verilog embebido. Las Fig. 11 y Fig. 12 muestran en detalle el contenido del bloque principal. Como puede observarse, éste está formado por cuatro multiplexores 4-1, un bloque que genera las señales de selección de los multiplexores Z0 y Z1 mediante un divisor de frecuencia de la señal de reloj CLK y un pequeño bloque formado por puertas lógicas que, en función del valor de Z0 y Z1, genera los 4 bits de activación de los displays: $7S_B$, $7S_C$, $7S_D$ y $7S_E$. Nótese que para implementar correctamente el sistema diseñado en la placa de entrenamiento es necesario indicar en el editor de esquemas Icestudio qué entradas y salidas de la placa Icezum Alhambra II van a utilizarse (éstas están conectadas internamente a E/S de la FPGA) y conectar los periféricos de la placa de entrenamiento a las entradas y salidas correspondientes indicadas en la serigrafía de la placa tal y como se muestra en la Fig. 13 donde puede observarse la implementación cableada del reto propuesto y el correcto funcionamiento del sistema.

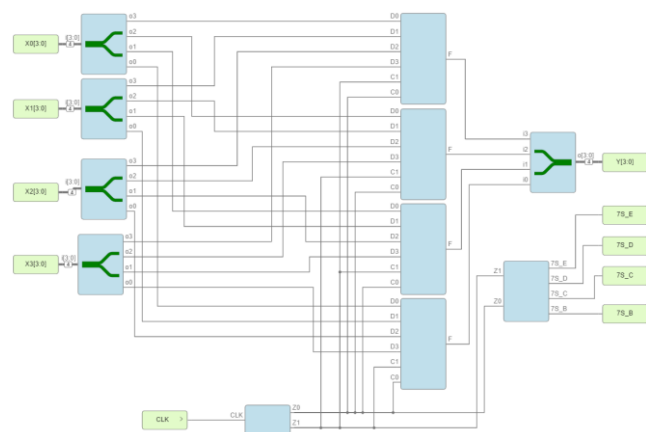


Fig. 11. Componentes internos del bloque principal.

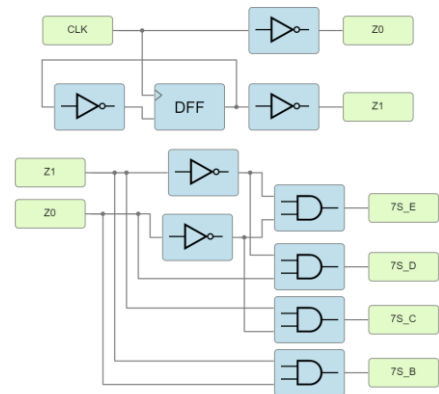


Fig. 12. Esquemas lógicos del circuito generador de señales de selección de los multiplexores (Z0 y Z1) y del circuito de activación de los displays.

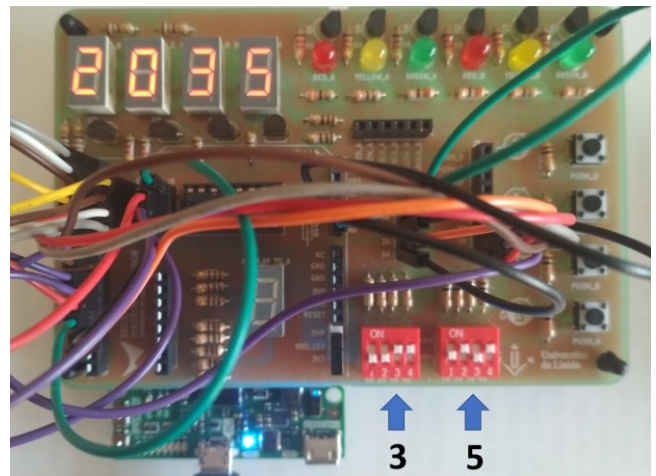


Fig. 13. Implementación práctica del reto planteado mediante la plataforma de desarrollo de bajo coste propuesta.

Nótese que, en el caso del sistema propuesto, únicamente se necesitan 16 conexiones cableadas para implementar este ejercicio, mientras que si se hubiera utilizado el sistema “clásico” se hubieran necesitado aproximadamente unas 50 conexiones cableadas en la *proto board* y el uso de 6 circuitos integrados monolíticos: SN74HC153 (2x), SN74HC08 (1x), SN74HC04 (1x) y SN74HC74 (1x).

V. RESULTADOS PRELIMINARES Y ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA

Para tener unos primeros indicios sobre el impacto en el de nuestra propuesta se ha realizado con nuestros estudiantes una práctica de laboratorio mediante el sistema “clásico” y luego se ha realizado otra sesión de laboratorio donde se ha implementado la misma práctica mediante el sistema que se propone en este trabajo: placa de desarrollo + placa Icezum Alhambra II + Icestudio. Finalmente se ha realizado una pequeña encuesta para conocer la opinión y la percepción de los estudiantes sobre el nuevo sistema de aprendizaje.

El ejercicio práctico ha consistido en el diseño y la implementación de un pequeño sistema digital combinacional que en función del valor de dos bits de entrada genera una salida determinada a través de un display 7-segmentos: $00 \rightarrow$ “u”, $10 \rightarrow$ “d” y $01 \rightarrow$ “l”. La Fig. 14 muestra el esquema lógico del ejercicio en el editor visual Icestudio. La Fig. 15 muestra la implementación práctica del ejercicio mediante el uso de circuitos integrados monolíticos, cables de conexión y

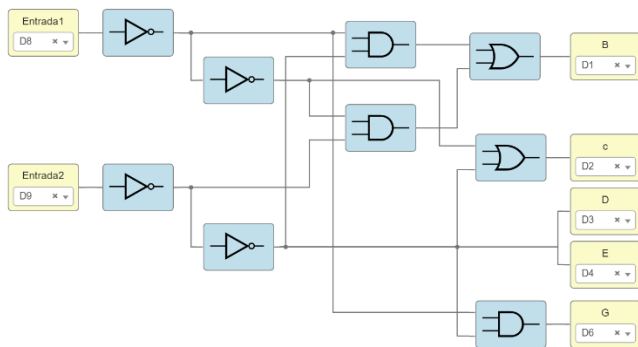


Fig. 14. Diagrama lógico del ejercicio práctico de *test* para nuestros estudiantes.

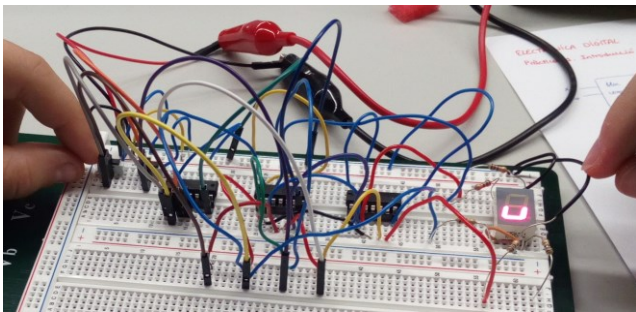


Fig. 15. Implementación ejercicio práctico mediante el sistema "clásico".

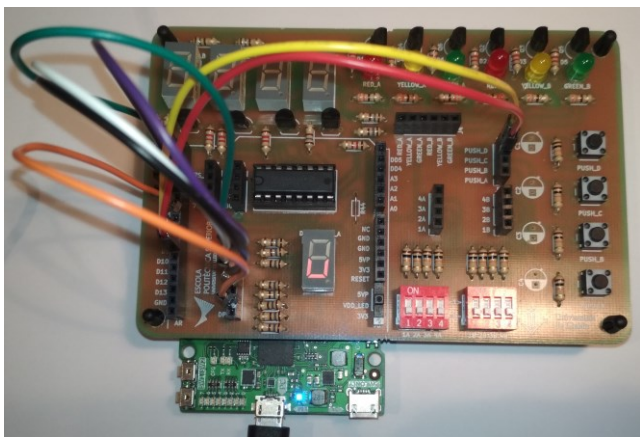


Fig. 16. Implementación del ejercicio práctico mediante la plataforma de desarrollo de bajo coste propuesta.

placas de prototipado. Obsérvese que en este caso el número de circuitos integrados comerciales necesarios para implementar el ejercicio es igual a 3 ya que el ejercicio práctico es bastante simple. Finalmente, la Fig. 16 muestra la implementación práctica mediante el sistema propuesto en este trabajo. Como se puede observar, el cableado del circuito de la Fig. 16 es mucho menor en el de la Fig. 15. Este hecho se hace más evidente a medida que la complejidad del circuito a implementar se incrementa y el número de circuitos integrados comerciales necesarios para implementar el ejercicio mediante aumenta.

Finalmente, la Fig. 17 muestra el resultado de las preguntas que se han realizado a una muestra de 30 estudiantes una vez finalizadas ambas sesiones de laboratorio y que se detallan a continuación: Q1) ¿Cuál de los dos sistemas crees que te permite una mejor implementación de los ejercicios prácticos de laboratorio de la asignatura de electrónica digital? y Q2) ¿Cuál de los dos sistemas crees que permite aprender mejor los conceptos asociados a la teoría y/o problemas expli-

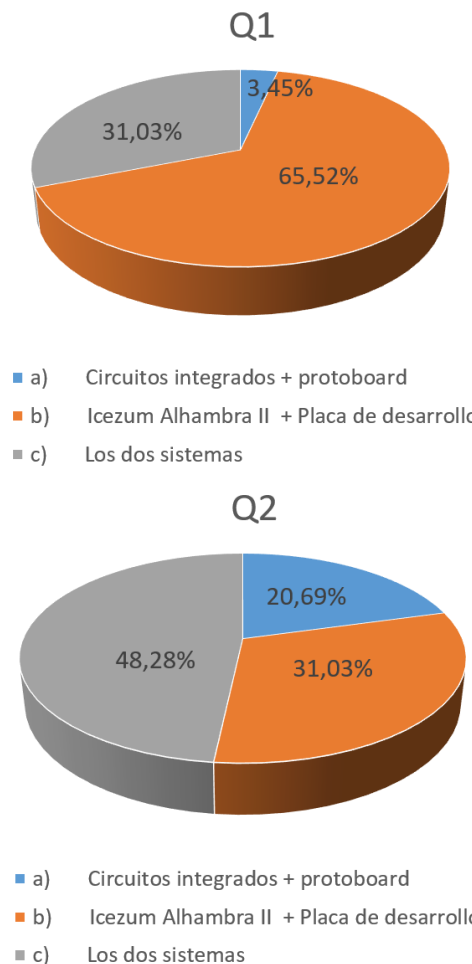


Fig. 17. Resultados de las preguntas Q1 y Q2 (muestra: 30 estudiantes).

cados en clase? Como puede observarse en la Fig. 17, en relación a la pregunta Q1 nuestros estudiantes creen / perciben que la implementación práctica de los ejercicios de prácticas de laboratorio de la asignatura de electrónica digital es mejor con el sistema propuesto (65,52 %) que con el sistema "clásico" (31,03%). Sin embargo, en relación a la pregunta Q2, una mayoría de estudiantes (48,28%) creen que ambos sistemas les permiten aprender de igual manera los conceptos asociados a la teoría y/o problemas explicados en clase frente un 20,69% de los estudiantes que prefiere el sistema clásico y un 31,03% de los estudiantes que prefiere el sistema propuesto. Este último resultado no ha dejado de sorprendernos ya que esperábamos que los estudiantes escogerían mayoritariamente el sistema propuesto en detrimento del sistema "clásico" (especialmente debido a las quejas que recibíamos recurrentemente sobre este último y que han sido comentadas en el presente trabajo). Creemos que el hecho que el ejercicio de testeo a la hora de comparar ambos sistemas sea tan simple ha influido en la respuesta proporcionada por los estudiantes y que si hubiéramos realizado la prueba con un ejercicio más complejo (número de circuitos integrados necesarios mayor que 5 o 6) la respuesta hubiera sido diferente. No obstante, este el resultado hace que valoremos la posibilidad de mantener (al menos de forma temporal) ambos sistemas a la hora de implementar los ejercicios prácticos de laboratorio mientras realizamos un estudio más profundo para obtener más datos objetivos y poder tomar una decisión definitiva ya que es posible que los estudiantes hayan valorado positivamente (y en contra de

nuestra intuición) el hecho de tener que enfrentarse a las dificultades del sistema “clásico” o el hecho de poder conocer, usar y trabajar (y disfrutar) con unos dispositivos, que aun siendo ya muy maduros, como son los circuitos de las series TTL 7400 o CMOS 4000, han sido fundamentales en el desarrollo y avance de la electrónica digital.

VI. CONCLUSIONES

Si bien este trabajo no presenta estrictamente una nueva metodología docente en el ámbito de la enseñanza de la electrónica digital mediante el uso de FPGAs (el uso de plataformas de desarrollo comerciales está ampliamente publicado desde hace más de 15 años y está implementado en muchísimas universidades) creemos que su novedad radica 1) en la creación del concepto de plataforma de desarrollo de bajo coste que permite que los alumnos puedan trabajar cómodamente en sus casas y con total disponibilidad horaria y 2) en el uso en el aula de herramientas de hardware y software libre para programar las FPGAs. Los resultados preliminares obtenidos a partir de una encuesta realizada a nuestros estudiantes demuestran que éstos perciben que se mejora el proceso de implementación de los ejercicios prácticos del laboratorio de la asignatura de electrónica digital. Sin embargo, hay que seguir haciendo un estudio más profundo y sostenido en el tiempo (uno o varios cursos académicos) en la que los estudiantes utilicen la plataforma de bajo coste en sus casas de forma continuada para poder afirmar (o no) que la plataforma de desarrollo propuesta y la apuesta por el uso de herramientas de software /hardware libre en la implementación de circuitos digitales en FPGAs mediante herramientas libres mejora el proceso de aprendizaje de nuestros estudiantes.

Aunque la concepción de la plataforma de desarrollo de bajo coste se ha creado en base al uso de herramientas libres de reciente aparición, ya que nos ha parecido interesante explorar esta nueva opción tecnológica en el aula, su uso no es exclusivo en entornos de hardware y software libre. El mismo concepto podría haberse aplicado perfectamente (previa adaptación del diseño) al uso de placas de entrenamiento de marcas comerciales que suministran software de programación privativo a coste cero (licencias de estudiantes, licencias gratuitas para algunos modelos concretos de FPGA, período de prueba-evaluación gratuitos, etc...). En este sentido, este trabajo no pretende hacer apología del uso de las herramientas libres en detrimento de las herramientas privativas. Probablemente haría falta un estudio comparativo mucho más profundo para destacar objetivamente las bondades y fortalezas de un sistema u otro. No obstante, ciertamente no hemos sido ajenos a la influencia e impacto que está teniendo el movimiento *maker* en el ámbito tecnológico, industrial y académico actualmente a la hora de decidir el enfoque de este trabajo. Solo hace falta ver la contribución que ha tenido todo este movimiento en la pandemia de la COVID-19 (fabricación de viseras de protección y adaptación de máscaras mediante impresión 3D para su uso hospitalario o diseño de respiradores de emergencia, etc...) para darse cuenta que este movimiento ha llegado para quedarse y la Universidad no puede ser ajena a los cambios disruptivos que de vez en cuando aparecen en nuestra sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de la convocatoria de ayudas para la realización de proyectos de innovación y

mejora de la docencia de la Universitat de Lleida (UdL) del curso 2018-19 y del proyecto: “Migració de les pràctiques de laboratori d’electrònica digital a una plataforma de desenvolupament de sistemes digitals de baix cost basada en l’ús de FPGAs lliures”.

REFERENCES

- [1] U. Kretschmar, J. Gomez-Cornejo, N. Moreira, U. Bidarte and A. Astarloa, “A versatile FPGA demonstration platform for academic use,” *2014 XI Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (Technologies Applied to Electronics Teaching) (TAEE)*, Bilbao, 2014, pp. 1-6.
- [2] E. Magdaleno, M. Rodríguez, D. Hernández, E. Rodríguez and F. Pérez, “Teaching methodology of the subject design of electronic systems using FPGA in the new master of industrial engineering,” *2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, Seville, 2016, pp. 1-6.
- [3] E. Todorovich, J. A. Marone and M. Vazquez, “Introducing Programmable Logic to Undergraduate Engineering Students in a Digital Electronics Course,” in *IEEE Transactions on Education*, vol. 55, no. 2, pp. 255-262, May 2012.
- [4] V. Kiray, S. Demir and M. Zharov, “Improving Digital Electronics Education with FPGA technology, PBL and Micro Learning methods,” in *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, Bali, 2013, pp. 445-448.
- [5] C. Quintans, M. D. Valdes, M. J. Moure, L. Fernandez-Ferreira and E. Mandado, “Digital electronics learning system based on FPGA applications,” *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference*, Indianapolis, IN, 2005, pp. S2G-7.
- [6] H. N. Quang and T. M. Hoang, “A low-cost remote laboratory of field programmable gate arrays,” in *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Bangkok, 2015, pp. 172-176.
- [7] G. Donzellini and D. Ponta, “From gates to FPGA: Learning digital design with Deeds,” *2013 3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference*, Santa Clara, CA, 2013, pp. 41-48.
- [8] S. M. Trimberger, “Three Ages of FPGAs: A Retrospective on the First Thirty Years of FPGA Technology,” in *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 3, pp. 318-331, March 2015.
- [9] Terasic FPGA development boards. [Online]. Available: <https://www.terasic.com.tw/> [Accessed: 15- March- 2020].
- [10] Basys-3 FPGA board documentation. [Online]. Available: <https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/basys-3/start> [Accessed: 15- March- 2020].
- [11] C. Wolf, “Project IceStorm”. [Online]. Available: <http://www.clifford.at/icestorm/> [Accessed: 15- March- 2020].
- [12] D. Kushner, “The Making of Arduino: How five friends engineered a small circuit board that’s taking the DIY world by storm” [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino> [Accessed: 27- April- 2020].
- [13] iCE40-compatible free FPGA development boards. [Online]. Available: <https://joelw.id.au/FPGA/CheapFPGADevelopmentBoards> [Accessed: 15- March- 2020].
- [14] R. Heradio *et al.*, “Open-Source Hardware in Education: A Systematic Mapping Study,” in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 72094-72103, 2018.
- [15] M. C. Rodríguez-Sánchez, A. Torrado-Carvajal, J. Vaquero, S. Borromeo and J. A. Hernández-Tamames, “An Embedded Systems Course for Engineering Students Using Open-Source Platforms in Wireless Scenarios,” in *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 4, pp. 248-254, Nov. 2016.
- [16] J.M. Machado Cano, E. Ros Vidal, M. Rodríguez-Álvarez, “Migración de prácticas a una plataforma de hardware reconfigurable en la asignatura de Tecnología y Organización de Computadores,” in *Proceedings of Jornadas SARTECO*, Málaga, 2017, pp. 705-711.
- [17] J. Hormigo and A. Rodríguez, “Designing a Project for Learning Industry 4.0 by Applying IoT to Urban Garden,” in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 14, no. 2, pp. 58-65, May 2019.
- [18] J. C. Martínez-Santos, O. Acevedo-Patino and S. H. Contreras-Ortiz, “Influence of Arduino on the Development of Advanced

- Microcontrollers Courses,” in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 12, no. 4, pp. 208-217, Nov. 2017.
- [19] I. Papaefstathiou, “IoT design course using open-source tools,” *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Abu Dhabi, 2016, pp. 114-118.
 - [20] A. Fernández-Pacheco, S. Martin and M. Castro, “Implementation of an Arduino Remote Laboratory with Raspberry Pi,” *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Dubai, United Arab Emirates, 2019, pp. 1415-1418.
 - [21] Arduino: Open-source electronic prototyping platform enabling users to create interactive electronic objects. [Online] Available: <https://www.arduino.cc/> [Accessed: 15- March- 2020].
 - [22] ghdl-yosys-plugin: VHDL synthesis with ghdl and yosys. [Online] Available: <https://github.com/ghdl/ghdl-yosys-plugin> [Accessed: 27-April- 2020].
 - [23] Icezum Alhambra II board. [Online] Available: <https://alhambrabits.com/alhambra/> [Accessed: 15- March- 2020].
 - [24] Icestudio: Visual editor for open FPGA boards. [Online]. Available: <https://icestudio.io/> [Accessed: 15- March- 2020].
 - [25] FPGAWars: Exploring the dark side of free FPGAs. [Online]. Available: <http://fpgawars.github.io/> [Accessed: 15- March- 2020].
 - [26] Apio, an open source ecosystem for open FPGA boards. [Online]. Available: <https://apiodoc.readthedocs.io/en/stable/> [Accessed: 15-March- 2020].
 - [27] Experimental open FPGA IDE using Atom and Apio. [Online] Available: <https://github.com/FPGAwards/apio-ide> [Accessed: 15-March- 2020].
 - [28] KiCAD EDA: A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite. [Online] Available: <https://www.kicad-pcb.org/> [Accessed: 15- March- 2020].

BiSKY Team: estudiantes de ingenierías diversas cooperan para construir un cohete

Jesús Lázaro
Department of Electronic Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
Bilbao, Spain
jesus.lazaro@ehu.es

Elisabete Aramendi
Department of Communication
Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
elisabete.aramendi@ehu.es

David de la Vega
Department of Communication
Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
david.delavega@ehu.es

David Guerra
Department of Communication
Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
david.guerra@ehu.es

Sofía Ruiz de Gauna
Department of Communication
Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
sofia.ruizdegauna@ehu.es

Ibon Saratxaga
Department of Communication
Engineering
Universidad del País Vasco/Euskal
Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
ibon.saratxaga@ehu.es

Abstract—Entre las competencias transversales que debe asimilar el alumnado de cualquier ingeniería, destacan dos habituales: trabajar coordinadamente en equipo y resolver problemas complejos multidisciplinarios. Sin embargo, no siempre es factible abordar dichas habilidades desde los planes de estudio, de manera convencional; a veces, diversas circunstancias lo hacen incluso inviable. La solución de compromiso más pragmática suele ser que múltiples estudiantes desarrollen un solo proyecto mediante trabajos fin de grado o de máster, en cooperación. En la Escuela de Ingeniería de Bilbao ha surgido una alternativa complementaria, impulsada por el alumnado, y alentada por docentes: BiSKY Team. Se trata de un equipo de estudiantes que se han aliado para construir un cohete que alcance los 100 km de altitud, lanzarlo y hacerlo volar hasta esa altura. A tal fin, cuentan con el apoyo de profesorado y profesionales de empresas relacionadas con el sector aeroespacial. Un reto de semejante envergadura obliga a desplegar capacidades y rutinas muy demandadas por las empresas, y que frecuentemente quedan relegadas a un segundo plano en las asignaturas convencionales. La propia autonomía de la asociación la lleva a organizarse prácticamente como una empresa. Por otra parte, iniciativas de estas características pueden servir como fuerzas motrices que atraigan alumnado a las tan necesitadas carreras de ingeniería.

Keywords— Tutoría, evaluación continua, estímulos didácticos

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los planes de estudio en ingeniería incluyen cooperar en equipo y resolver problemas polifacéticos, entre las competencias transversales que se deben adquirir. No obstante, dichas habilidades rara vez se pueden trabajar en actividades académicas convencionales; o incluso no es factible por múltiples razones. En la práctica, la salida más honrosa suele ser diversos trabajos fin de grado o de máster que convergen coordinadamente en un solo proyecto.

Por otro lado, el número de estudiantes que ingresan en titulaciones de ingeniería no permite cubrir la oferta laboral para esas profesiones. Son carreras con fama de duras y, a pesar de la excelente salida profesional, poco atractivas.

II. DESCRIPCIÓN DE LA INICIATIVA

Análogamente a otras experiencias previas [1-5], 49 estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Bilbao constituyen

BiSKY Team [6] (Fig. 1), actividad alentada por 4 docentes, en la que el equipo discente se ha propuesto montar lanzadores espaciales suborbitales, que alcancen 100 km de altitud –a partir de ahí, está convenido que empieza el espacio–, y que porten microexperimentos. Investigan en dos vías paralelas: estructuras de ensayo, donde verifican una tecnología híbrida –combinar oxidante líquido y combustible sólido– (Fig. 2) y combustión sólida para cohetes (Fig. 3), en los que prueban la electrónica. La tecnología híbrida, más segura que la tradicional, permite reencender y recuperar los cohetes.



Fig. 1. Logotipo de Bisky Team.

This work has been supported by the Ministerio de Economía y Competitividad of Spain within the project TEC2017-84011-R and FEDER funds as well as by the Department of Education of the Basque Government within the fund for research groups of the Basque university system IT978-16.



Fig.2. Motor híbrido de la segunda generación.

A tal fin, cuentan con el apoyo de profesionales de empresas aeroespaciales y subcontratas –24 privadas y 13 institucionales-. Ante semejante desafío, el alumnado desarrolla capacidades transversales muy demandadas por las empresas, pero normalmente desatendidas por las asignaturas regulares. Como la asociación ha de funcionar autónomamente, nombran, a modo de una empresa: gerente, responsables de finanzas, comunicación, etc. Por tanto, las competencias transversales se ejercen de manera natural.

De otra parte, sus acciones ayudan a suscitar entre el alumnado de secundaria vocaciones científico-tecnológicas, y atraerlo a las tan necesitadas carreras de ingeniería.

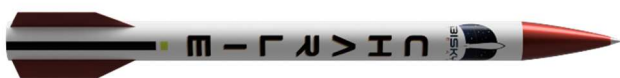


Fig. 3. Tercer cohete de combustible sólido.

III. EL SISTEMA ELECTRÓNICO

Hasta el momento, parte del alumnado se ha encargado de la electrónica del cohete, que ha sido probada en los de combustión sólida, y del control. Más en concreto, una alumna está realizando su trabajo fin de máster, en Ingeniería de telecomunicación, sobre la parte electrónica del cohete.

Las funciones específicas del sistema han sido encomendadas a diferentes microcontroladores, lo cual permite aislar averías y hacer el diseño más expansible y flexible. Dichos microcontroladores se intercomunican a través de dos buses CAN, uno para los datos y el otro para control, mediante el protocolo CCP, desarrollado por BiSKY Team, a partir del CAN Aerospace. La Fig. 4 muestra su diagrama de bloques principal.

A. Los sensores

Este subsistema recoge los datos del módulo inercial MTi-7 GNSS/INS sobre velocidad, posición, aceleración, orientación, altitud y temperatura. El valor de la aceleración lo envía sin cesar, aunque truncado en el máximo de 16 g. Por

otro lado, han tenido que incorporar al MTi-7 un barómetro BMP280 y un módulo GNSS MAXM8 de Ublox, recomendados por el fabricante, Xsens. Este también proporciona un protocolo de comunicación de bajo nivel, Xbus, para programar el módulo. Los sensores entregan toda esta información a los algoritmos que anticipan el apogeo, y la altura de seguridad (de 1 km a 2) a la que abrir el paracaídas.

Suplementariamente, cabe sustituir el módulo inercial por un MTi-G-710 GNSS, que mide los mismos parámetros, pero con las ventajas de que admite aceleraciones de hasta 20 g, e integra el receptor GPS y el barómetro. También proporciona una interfaz de comunicaciones RS422 con el resto de la electrónica; en concreto, con el microcontrolador de esta sección de los sensores. A tal fin, se han insertado un transceptor RS-422 y un conector 9-pin Molex de 9 patillas, que se conecta al cable suministrado por el fabricante.

B. Recuperación

Esta sección se encarga de expulsar el sistema que recupera el cohete: 2 paracaídas, principal y de arrastre, y 4 aero-frenos. Lo logra mediante 8 canales detonantes que prenden la cerilla electrónica (e-cerilla), un ignífero que, mediante una corriente eléctrica, hace arder el compuesto combustible. Las e-cerillas, o detonadores, fuerzan a expulsar las escotillas que liberan los paracaídas, al ser prendidas por medio de un MOSFET de potencia. Como, al ser cortocircuitado, fuerza grandes corrientes que prenden el detonador, debe ser aislado del resto del sistema microcontrolado.

Por otro lado, un circuito detector de continuidad verifica que los detonadores estén bien conectados, y 4 actuadores lineales controlan con su movimiento los aero-frenos. Un integrado que crea puentes en H gobierna los actuadores lineales, escogidos según la corriente y tensión del motor. Los puentes H han sido ubicados en la parte aislada, puesto que podrían introducir ruido en el resto del sistema.

C. El almacén de datos

Una memoria SD graba localmente todos los datos recibidos de los otros subsistemas. A diferencia de una memoria Flash integrada, la SD permite leer más fácilmente los datos, una vez recuperado el cohete. Estos son enviados por un canal de telemetría a la estación terrestre, en la frecuencia de 2,4 GHz. Se encargan el módulo transceptor RC2500HPRC232 y una antena transmisora omnidireccional, con polarización circular a derechas.

D. El computador de vuelo

Este director de orquesta, a partir de los datos entregados por las otras secciones, esclavas, supervisa el vuelo, y actúa, cuando procede. A modo de ejemplo, recolecta los datos provenientes de los sensores y ordena a la sección de recuperación abrir los paracaídas. También sincroniza, a partir de una referencia de reloj externa, SI5351A-B-GTR, todos los microcontroladores de las otras secciones. Puesto que los relojes son isócronos, puede fechar eventos.

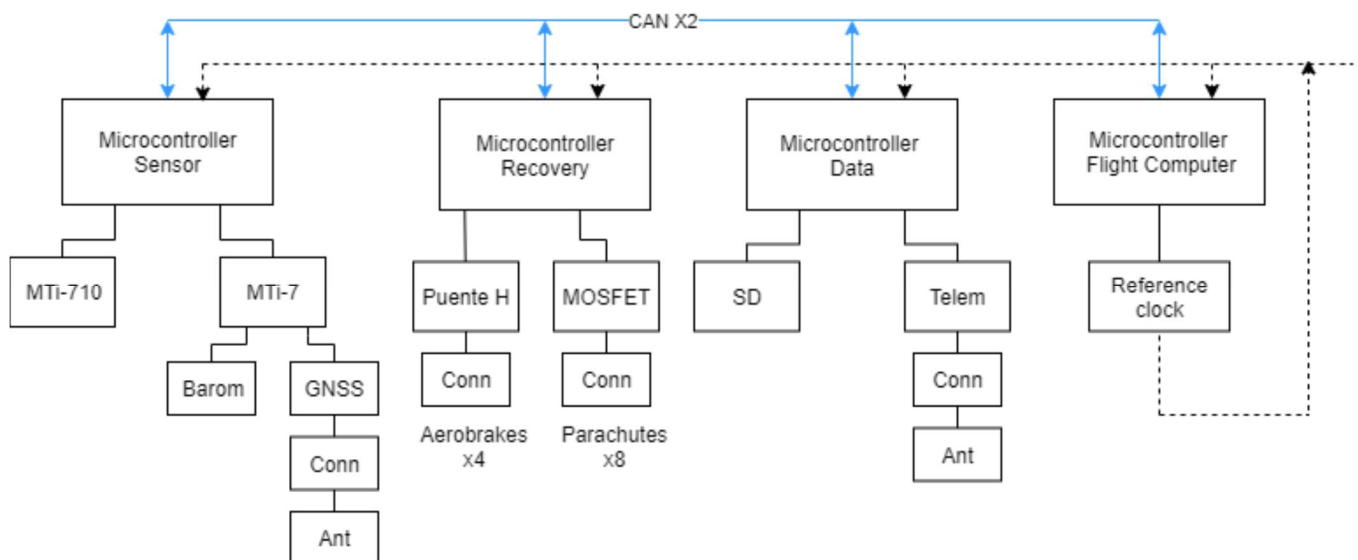


Fig. 4. Diagrama de bloques general del sistema.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Según el profesor Paricio [7], hacer del aprendizaje universitario un proceso no traumático y, a la vez, eficaz en cuanto a la adquisición de competencias requiere que cada estudiante viva al menos una “experiencia discente gratificante”. BiSKY Team aglutina a 49 estudiantes –de los que 10 son chicas– que, a su vez, han conseguido ser patrocinados por 37 empresas e instituciones. Llevan 2 cohetes lanzados, hasta 507 y 778 m, respectivamente, y un motor construido.

Como muestra del carácter multidisciplinar y complementario del equipo, estas son las titulaciones en las que estudian:

- Máster universitario en ingeniería industrial, 7, de los cuales, 2 cursan a la vez la especialización en Aeronáutica, y otro el grado de Física.
- Master en ciencia y tecnología espacial, 4.
- Máster universitario en ingeniería de telecomunicación, Master ingeniería mecánica y Máster en ingeniería de control, automatización y robótica, 1 en cada uno.
- Grado en ingeniería en tecnología industrial, 19.
- Grado en ingeniería en tecnología de telecomunicación, 3.
- Grado en ingeniería mecánica, 3.
- Doble grado: Física e Ingeniería electrónica, 2.
- Grado en Física, 2.
- Grado en ingeniería electrónica industrial y automática, 2.
- Grado en ingeniería informática de gestión y sistemas de información, Grado en administración y dirección de empresas, Grado en Economía y Grado en gestión de negocios, 1 en cada uno.

Se distribuyen según la siguiente estructura funcional –no todos están adscritos–:

- Capitana: 1

- Directiva: 8
- Jefes de proyecto: 3
- Administración: 1
- Electrónica: 7
- Propulsión: 9
- Estructura: 3
- Aerodinámica y recuperación: 7
- Control de vuelo y simulación: 7

El alumnado ha realizado todas las tareas, fabricado y montado los componentes en los laboratorios y el taller de la Escuela, excepto los siguientes –entre paréntesis, qué empresa o institución ha colaborado–:

- Aero-frenos, módulos de paracaídas y aviónica (Láser Norte)
- Unión exterior de los aero-frenos (Instituto de Formación Profesional Somorrostro)
- Pisos (Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica, CFAA)

REFERENCIAS

- [1] S. Jayaram, L. Boyer, J. George, K. Ravindra, and K. Mitchell, “Project-based introduction to aerospace engineering course: A model rocket,” *Acta Astronautica*, vol. 66, no. 9-10, pp. 1525–1533, May 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016%2Fj.actaastro.2009.10.038>
- [2] P. Nowakowski, A. Okninski, M. Pakosz, D. Cieslinski, B. Bartkowiak, and P. Wolanski, “Development of small solid rocket boosters for the ILR-33 sounding rocket,” *Acta Astronautica*, vol. 138, pp. 374–383, Sep. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016%2Fj.actaastro.2017.06.007>
- [3] A. Nylund and J.-E. Rønningen, “Technical and educational improvements of the student rocket program at NAROM and andøya rocket range,” *Acta Astronautica*, vol. 61, no. 1-6, pp. 506–513, Jun. 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016%2Fj.actaastro.2007.01.058>
- [4] A. Okninski, B. Marciniak, B. Bartkowiak, D. Kaniewski, J. Matyszewski, J. Kindracki, and P. Wolanski, “Development of the polish small sounding rocket program,” *Acta Astronautica*, vol. 108,

- pp. 46–56, Mar. 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016%2Fj.actaastro.2014.12.001>
- [5] G. Pignolet, F. Cserep, M. Hallet, C. J. Piper, and G. S. James, "Availability status of motors for student experimental rockets," *Acta Astronautica*, vol. 17, no. 8, pp. 921–930, Aug. 1988. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016%2F0094-5765%2888%2990176-2>
- [6] www.biskyteam.com
- [7] Javier Paricio Royo, "¿Qué es lo importante? Factores para potenciar el éxito académico del alumnado en cursos y titulaciones", Servicio de Asesoramiento Educativo, 2015, UPV/EHU.



Session TS-7B

Lab Experiences

An educational remote laboratory for controlling a signal conditioning circuit with an LDR sensor

Ricardo Costa, Paulo Bastos, Gustavo Alves, Manuel Carlos Felgueiras and André Fidalgo
Polytechnic of Porto ISEP/CIETI/LABORIS;

rjc@isep.ipp.pt, paulo.mota99@gmail.com, gca@isep.ipp.pt, mcf@isep.ipp.pt, anf@isep.ipp.pt

Abstract - In the past few years, the technologic evolution of communication and information systems had a major impact in our lives. In education, this evolution broke some geographical barriers, facilitating students' access to real laboratories using a simple device connected to the Internet, contributing therefore to improve teaching and learning methods. To support this evolution, this paper describes a remote laboratory that provides students' access to a typical electronic instrumentation system. Through a set of webpages, users can remotely control a light intensity sensed through a Light Dependent Resistor (LDR) sensor connected in an arm of a configurable Wheatstone Bridge (WB), whose output differential voltage are amplified / attenuated by an Instrumentation Amplifier (IA) circuit. Through this laboratory, users are able to control several components of a typical instrumentation system, visualize changes and analyze some measurements, in the same way as they would do in a traditional hands-on laboratory. An overview of the developed remote laboratory and a contextualization within other available solutions are presented in this paper. At the end, some considerations for its adoption in education are described.

Keywords— Engineering education, Remote laboratory, Instrumentation System, LDR, Wheatstone Bridge.

Living-Lab for Smart Grid technologies teaching

Antonio Parejo

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
aparejo@us.es

Sebastián García

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
sgarcia15@us.es

Enrique Personal

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
epersonal@us.es

Antonio García

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
antgar@us.es

Juan Ignacio Guerrero

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
juaguealo@us.es

Carlos León

Department of Electronic Technology,
Escuela Politécnica Superior
University of Seville
Seville, Spain
cleon@us.es

Abstract—Smart Grid is one of the keystones of the future power system. Of course, it does not involve one technology, but many different ones, which covers the whole structure of the power system and provides all the necessary functionalities. Due to their importance, these technologies should be part of the formation of electric and electronic engineers, being especially important those related with automatic metering infrastructure. This paper presents the design of a classroom for students of Master course in Smart Cities, where smart grid technologies are included, so the student can see and use real systems of automatic metering infrastructure. In this way, the students can study and identify the advantages and implications of these systems.

Keywords—Smart Grid, Automatic Metering Infrastructure, Power System Automation, Master Science course.

Virtual Laboratory for Digital Signal Processing

Javier A. Guerra
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
jgcoronado@us.es

Samuel Dominguez-Cid
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
sdcid@us.es

Juan Ignacio Guerrero
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
juaguealo@us.es

Antonio Garcia
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
antgar@us.es

Diego Francisco Larios
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
dlarios@us.es

Carlos Leon
Department of Electronic Technology
Universidad de Sevilla
Seville, Spain
cleon@us.es

Abstract—Digital Signal Processor is a useful tool for learning and practice about filters for digital signals. The practices of the subject “*Procesado Digital de Señales*” made the students to learn how to use it, and how to run some algorithms. But the hardware and laboratory restrictions and the complexity of subject provoked some availability problems of DSP platforms. An effective solution is the creation of a virtual laboratory which connects to the real hardware, as explained in this document.

Index Terms— Virtual Laboratory, Digital Signal Processor, Algorithm, Practice sessions.

I. INTRODUCTION

This project is focus on “*Procesado digital de Señales*” (PDS) subject practices, of the Electronic Engineering degree, taught at “*Escuela Politécnica Superior*”, University of Seville (Spain). In this subject, students learn about how to process and filter digital signals. The theoretical aspect of the subject is supplied by some practices in an electronic laboratory, in which students put in practice previous learned knowledge, such as creating some filters in time or frequency domain.

The hardware used for these practices is the TMS320C5505 eZdsp Universal Serial Bus (USB) Stick [1], based on a C5505 16-bit Digital Signal Processor (DSP). But the cost of the device and the limited time to access the laboratory causes students cannot use the device outside of the practice sessions. Therefore, it is desirable a solution that allows to practice and programing remotely the DSP.

II. GENERAL DESCRIPTION OF THE VIRTUAL LABORATORY

We present a virtual laboratory, which is a program based on a terminal, for using the DSP remotely. This solution is used frequently in many applications, with good results [2]. It consists of a textbox in a web page where students would write an algorithm to be tested over the DSP. The response, in case of success or error, will be sent to the user by email or by the web page. Moreover, if the algorithm is incorrect, it returns an error message response. Thus, the user could check any algorithm without expect to the next laboratory session. It also has its own queue management, avoiding data loss. The virtual laboratory has also preloaded the whole practice dataset. Therefore, the students would test their algorithms anytime they want.

III. RESULTS

This program results in a useful tool for the students of PDS, reducing the hardware demand, but improving the DSP skills of the students. According to our analysis, the use of this tool help students to get results in practical sessions, as they would test as much as they need their algorithms before the practical session. Furthermore, the professor can access to all the code tested by students, that can be used to evaluate their evolution.

REFERENCES

- [1] Texas Instruments, «TMS320C5505 Fixed-Point Digital Signal Processor Datasheet». sep-2013.
- [2] D. R. dela Cruz y D. M. M. Mendoza, «Design and Development of Virtual Laboratory: A Solution to the Problem of Laboratory Setup and Management of Pneumatic Courses in Bulacan State University College of Engineering», in *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM)*, 2018, pp. 1-23, doi: 10.1109/GEM.2018.8516467.

Ensino conjunto de Hardware / Software usando Aprendizagem Baseada em Projetos como estratégia

Pedro Miguens Matutino^{*†}, Tiago Dias^{*†‡} e Pedro Sampaio^{*}

^{*}Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa – IPL
Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

[†]INESC-ID, Rua Alves Redol 9, 1000-029 Lisboa, Portugal

[‡]POLITEC&ID, Estrada de Benfica 529, 1549-020 Lisboa, Portugal

Email: pedro.miguens@isel.pt, tiago.dias@isel.pt, pedro.sampaio@isel.pt

Abstract — Sistemas Digitais e Programação são dois tópicos introdutórios nos currículos dos cursos de licenciatura em Engenharia da Informática, da Eletrónica e dos Computadores. Embora estes cursos abordem principalmente conceitos básicos de projeto de sistemas digitais e de programação, os alunos têm dificuldade em compreender e assimilar muitos dos tópicos fundamentais, o que dificulta muito os processos de ensino e aprendizagem [1]. Atualmente, a prática extensiva de laboratório é considerada a melhor estratégia pedagógica para melhorar a aprendizagem do aluno [1,2]. No entanto, a implementação desta abordagem de ensino é extremamente difícil nos atuais cursos de licenciatura, principalmente devido à necessidade contínua de redução do tempo dedicado às aulas e às práticas em laboratório. No intuito de minimizar estas restrições, implementamos uma estratégia de Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP, em Inglês PBL) para o desenvolvimento de um sistema conjunto de hardware / software na unidade curricular Laboratório de Informática e Computadores, obrigatória no segundo semestre da licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), a escola de engenharia do Instituto Politécnico de Lisboa (IPL), em Portugal.

O projeto conjunto de hardware / software proposto aos alunos é de média complexidade, permitindo que estes consolidem os conceitos apreendidos nas unidades curriculares Sistemas Digitais e Programação através da implementação de estruturas de hardware usando dispositivos lógicos reconfiguráveis [3] que interagem com o software em execução num PC, também desenvolvido pelos alunos. O projeto é estruturado de modo a abordar três tópicos chave: *i*) interação com o utilizador recorrendo a um teclado e ao circuito de decodificação correspondente, o que permite aprofundar o conhecimento sobre máquinas de estado e sincronização; *ii*) comunicação série síncrona, para visitar os problemas de armazenamento e protocolos de comunicação; e *iii*) projeto hierárquico de software, incluindo o software para gestão de periféricos. O projeto proposto aos alunos é dividido em várias tarefas, as primeiras consistindo no desenvolvimento de um módulo de hardware e o respetivo gestor de dispositivo no software, enquanto a última tarefa é focada no desenvolvimento da aplicação em software. Para cada tarefa é previamente definido um prazo, permitindo que os alunos preparem cada laboratório e planifiquem o seu tempo de trabalho.

O projeto proposto para o semestre de inverno do ano letivo 2019/2020, considerado como caso de estudo neste artigo, propõe a implementação de um Sistema de Controlo de Acessos para gerir a abertura de uma porta que dá acesso a uma área restrita. Esse acesso é concedido apenas quando o utilizador introduz um par válido de *identificador* e *senha*. O sistema proposto é constituído por: *i*) um Leitor de Teclado (HW), para decodificar as teclas premidas; *ii*) um controlador série LCD (HW), para comunicação com um mostrador LCD; *iii*) um controlador da porta (HW), para interagir com o mecanismo da porta; e *iv*) um módulo de Controlo (SW) implementando a funcionalidade da aplicação.

A metodologia aqui apresentada é aplicada desde 2015 com grande sucesso, corroborada por uma taxa de aprovação média acima de 90%. Conjuntamente observou-se que os alunos conseguiram consolidar as suas competências de hardware e software, mas também agregaram ambas as perspetivas. Além destas capacidades, os alunos aperfeiçoaram as suas competências na produção de documentação técnica.

Index Terms — Educação em engenharia informática, aprendizagem baseada em projeto, sistemas digitais e programação.

REFERÊNCIAS

- [1] H. Ochoa e M. Shirvaikar, “A Survey of Digital Systems Curriculum and Pedagogy in Electrical and Computer Engineering Programs”, Proc. 2018 ASEE Gulf-Southwest Section Annual Meeting, Austin, TX, Abril 2018.
- [2] C. M. Kellett, “A Project-Based Learning Approach to Programmable Logic Design and Computer Architecture”, in IEEE Transactions on Education, vol. 55, n.º 3, págs. 378-383, Agosto 2012. DOI: 10.1109/TE.2011.2179301.
- [3] T. Dias, P. Sampaio e P. M. Matutino, “A Portable Lab for the Practical Study of Modern Computer Engineering”, in 14th Conf. on Technology, Teaching and Learning of Electronics (TAEE), Porto, Portugal, Julho 2020.

FPGA remote laboratory: experience of a shared laboratory between UPNA and UNIFESP

Cándido Aramburu Mayoz
Electrical, Electronics and
Communications Dept.
Universidad Pública de Navarra
Pamplona, Spain
candido@unavarra.es

Luis Rodriguez-Gil
LabsLand
Bilbao, Spain
luis@labsland.com

Ana Lúcia da Silva Beraldo
Science and Technology Institute
Universidade Federal de São Paulo
São José dos Campos, Brazil
ana.beraldo@unifesp.br

Wilson F. Moreira de Souza Seron
Science and Technology Institute
Universidade Federal de São Paulo
São José dos Campos, Brazil
wilson.seron@unifesp.br

Aitor Villar-Martinez
University of Deusto
Bilbao, Spain
and
DeustoTech - Deusto Foundation
Bilbao, Spain
aitor.v@deusto.es

Pablo Orduña
LabsLand
Bilbao, Spain
pablo@labsland.com

Abstract—For teaching hardware design, FPGAs are a powerful technology, where students can learn how to design hardware using common hardware description languages such as VHDL or Verilog. However, the use of FPGAs in the classroom has several different problems, such as availability or associated costs of acquiring and maintaining the FPGAs, and relying on FPGA boards in the classroom is typically problematic because students cannot use the boards for doing projects after classes or during weekends. To solve this problem, remote laboratories can help allowing more flexibility to students. A remote laboratory is a hardware and software system that allows students to access a real FPGA located somewhere else on the Internet. In this article, a cross-national remote laboratory is presented. This remote laboratory has multiple copies (17 devices at the time of this writing) deployed both in UPNA (Spain) and UNIFESP (Brazil), and using EdTech LabsLand (Spain) for technology and management of the laboratory. Students of both institutions access transparently these laboratories, providing automatic fault tolerance and increasing the number of concurrent students using the laboratories by sharing the boards among both institutions*

Keywords—FPGA, Altera, Intel, VHDL, Verilog, Hardware Design, Remote Laboratory, LabsLand

Polytechnic of Porto – School of Engineering
(Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP)
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431
4249-015 Porto
Portugal

ISBN: 978-989-54758-3-4

